



Universidade Técnica de Lisboa
Faculdade de Motricidade Humana



***Situações de rutura da díade jogador-adversário
no jogo de ténis***

Dissertação apresentada com vista à obtenção do grau de Doutor no ramo de
Motricidade Humana e na especialidade de Ciências do Desporto

Orientador: Professor Doutor Duarte Fernando Rosa Belo Patronilho de Araújo

Co-Orientador: Professor Doutor Fernando da Cruz Duarte Pereira

Júri:

Presidente

Reitor da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais

Professor Doutor António Jaime da Eira Sampaio

Professor Doutor Miguel Crespo Celda

Professor Doutor Duarte Fernando da Rosa Belo Patronilho de Araújo

Professor Doutor Fernando Manuel da Cruz Duarte Pereira

Professora Doutora Anna Georgievna Volossovitch

João Herculano Pessanha de Carvalho

2012

The work presented in this dissertation was supported by the Foundation for Science and Technology (Portugal) grants SFRH/BD/45161/2008 and SFRH/PROTEC/67940/2010 awarded to J. Carvalho.

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR Portugal

AGRADECIMENTOS

É chegada a altura de reconhecer e prestar o meu mais sincero agradecimento a todos aqueles que de alguma forma tornaram possível a realização deste trabalho:

Ao **Professor Duarte Araújo** pela forma rigorosa e sábia como soube, através da manipulação dos constrangimentos, enfatizar a informação que me convidou a perceber e utilizar as minhas possibilidades de agir para concretizar este trabalho. Obrigada sobretudo pela amizade que ficou.

Ao **Fernando Pereira** pelo apoio inteligente e amigo que manifestou desde a primeira hora deste processo doutoral.

À **Elsa Pereira**, pelo imprescindível apoio na coordenação da área científica e na direção do curso, pelo tempo que disponibilizou e o incentivo que sempre soube dar nos momentos mais difíceis e pela sua amizade.

Aos colegas de doutoramento **Bruno Travassos** e **Pedro Esteves**, pelo qualificado e decisivo apoio que me prestaram e pelo atrevimento de terem sido co-autores deste trabalho. À **Vanda Correia**, uma palavra especial, pela sua sempre generosa e competente ajuda, pelo permanente incentivo e carinho demonstrados ao longo destes anos. Ao **Ricardo Duarte**, **Luís Vilar**, **Zé Lopes** e **Ana Paulo** um profundo agradecimento pelas excelentes discussões e disponibilidade manifestada para solucionarmos os desafios que iam surgindo. A todos, aqui fica o meu mais profundo agradecimento com o reconhecimento da mais-valia que representa para quem convosco tem a oportunidade de trabalhar. Espero e desejo que o futuro consiga estar ao nível das vossas potencialidades.

Ao **Professor Keith Davids** pelo rigor científico da sua contribuição como co-autor e pela forma apaixonada com que nos faz ver a ciência e a investigação.

Ao **Luis García-González** pelos artigos que escrevemos em co-autoria e pelas interessantes conversas que tivemos sobre ténis.

Ao meu **tio Luís** pela competente ajuda na formalização do modelo “PA Index”.

Ao **Orlando Fernandes** pela preciosa ajuda na elaboração das “rotinas” em MatLab e pela amizade demonstrada.

Ao **Professor Michael Riley** pelo aconselhamento prestado na aplicação do método *Recurrence Analysis Quantifications*.

À **Sofia Fonseca, Pedro Passos, Rita Cordovil, Ana Maria Abreu, Cris Fonseca, João Barreiros, Anna Volossovitch** e a todos os visitantes assíduos do Spertlab, pelos bons momentos de discussão científica que tivemos e pelas sinergias que estabelecemos.

Aos treinadores **João Cunha e Silva, Pedro Pereira, João Antunes, João Blaize e Adriano Carvalho**, pelas profícuas conversas que tivemos sobre a *dinâmica do jogo de ténis* e pela competente colaboração na afinação dos modelos e na participação como peritos.

Ao **João Lagos** e à **Lagos PremiumEvents**, ao Jornalista **Manuel Peres** e à **RTP**, pela possibilidade que nos deram de gravar os jogos do court central da edição de 2008 do Estoril Open.

A todos os colegas e amigos da FMH que souberam sempre encontrar tempo e disponibilidade para me dar uma palavra de incentivo.

Aos meus amigos por continuarem a ser meus amigos...depois desta minha fase de maior ausência nas suas vidas.

Ao colega e amigo **António Lopes** pela imprescindível colaboração na tradução dos artigos para inglês.

Aos meus **Pais** e **irmãos** pelo sempre pronto apoio que me têm dado ao longo da vida.

Por último, mas o mais importante, à minha grande companheira **Carla** e às minhas filhas **Sara** e **Inês**, pelo permanente apoio, compreensão, paciência, estímulo e amor incondicional.

RESUMO

Esta tese teve como objetivo contribuir para a compreensão da dinâmica de interação que se estabelece entre os jogadores de ténis durante a competição. De acordo com os princípios teóricos da dinâmica ecológica, procurámos perceber de que forma o posicionamento dos jogadores no espaço de jogo influencia as tendências de coordenação interpessoal em jogadas do fundo do *court*. Com base numa revisão crítica dos estudos efetuados no âmbito da análise da performance, começámos por propor um modelo conceptual que permite situar as diferentes abordagens que têm sido desenvolvidas. Em seguida realizámos dois estudos em que examinámos a formação de padrões de coordenação espaço-temporal, através da análise de vídeo de jogadas desenvolvidas a partir do fundo do *court*. Para o efeito foram construídos modelos que permitiram avaliar a evolução das tendências de coordenação interpessoal e identificar a vantagem posicional, com base no posicionamento dos jogadores no court. Os resultados mostraram que a posição relativa dos jogadores é um constrangimento espaço-temporal que influencia a dinâmica do comportamento dos jogadores no jogo. A vantagem posicional descreve e quantifica de forma consistente a dinâmica da interação entre os jogadores. Neste sentido, sugerimos um programa de treino da tomada de decisão no ténis que se baseia na realização de situações-problema criadas através da manipulação de diferentes constrangimentos.

Palavras-chave: Tomada de decisão, dinâmica ecológica; interação, coordenação interpessoal, affordances, desempenho, constrangimentos, análise do jogo, treino desportivo, ténis.

ABSTRACT

This thesis purposed to contribute to the understanding of the dynamic interaction that is established between tennis players during competition. According to the theoretical principles of ecological dynamics, we aimed to understand how the positioning of players in the competition field influences the interpersonal coordination tendencies in the end of the court. Supported in a critical review of studies carried out within performance analysis domain, we have stated by proposing a conceptual model that allows placing the different approaches that have been developed. Then we have carried out two studies in which we examined the formation of spatio-temporal coordination patterns, through video analysis of plays occurring from the end of the court. For this purpose were build models that allowed to assess the variations in interpersonal coordination tendencies and to identify positional advantage, based on the positioning of players on court. Results showed that the relative position of players is a spatio-temporal constraint that influences the players' behaviour dynamics in the match. Positional advantage describes and quantifies in a consistent way the dynamics of interaction between players. Hence, we suggested a training program for decision-making in tennis based on problem-solving tasks built through manipulation of different constraints.

Keywords: Decision-making; ecological dynamics; interaction interpersonal coordination; affordances; performance; constraints; match analysis; sport training; tennis.

LISTA DE PUBLICAÇÕES E COMUNICAÇÕES

Partes desta tese foram publicadas, aceites para publicação, ou submetidas para publicação como primeiro autor e em co-autoria:

Artigos em revistas indexada no ISI com sistema de arbitragem, como primeiro autor

Carvalho, J., Araújo, D., Travassos, B., Fernandes, O., Pereira, F., & Davids, K. (submitted). Interpersonal Dynamics on baseline rallies in tennis. (*International Journal of Sports Science and Coaching*).

Carvalho, J., Araújo, D., Travassos, B., Esteves, P., Pessanha, L., Pereira, F., & Davids, K. (submitted). Dynamics of player's relative positioning during baseline rallies. (*Journal of Sports Sciences*).

Carvalho, J., Araújo, D., García-González, L., & Iglesias, D. (2011). El entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis: ¿qué fundamentos científicos se pueden aplicar en los programas de entrenamiento?. *Revista de Psicología del Deporte*, 20(2), 767-783. ISSN: 1132-239X.

Artigos em revistas indexada no ISI com sistema de arbitragem, como co-autor

García-González, L., Araújo, D., **Carvalho, J.,** & Villar, F. (2011). Panorámica de las teorías y métodos de investigación en torno a la toma de decisiones en el tenis. *Revista de Psicología del Deporte*, 20(2), 645-666. ISSN: 1132-239X.

Capítulos de livros:

Carvalho, J. & Araújo, D. (in press). Modelo eco-físico da performance: Contributo para a unificação do estudo do desempenho desportivo físico. In A. Volossovitch, & A. P. Ferreira (Eds.) *Fundamentos e aplicações em análise do jogo*.

Araújo, D. & **Carvalho, J.** (2009). A Tomada de decisão também se treina: uma aplicação no tênis. In R. Brandão & A. Machado (Eds.), *O treinador e a psicologia do esporte* (pp. 115-140). São Paulo: Editora Atheneu.

Algumas partes desta tese e extrapolação adicional dos dados foram apresentadas em congressos e publicada em livros de resumos e em edições especiais de jornais científicos com autoria e co-autoria:

Comunicações em encontros técnico-científicos

Comunicações orais

Carvalho, J. Araújo, D., & Esteves, P. (2012). Capturing performer's interactions in sports to enhance the design of representative training tasks: The Dynamics of the relative position of the players in court during baseline rallies. Comunicação apresentada no seminário de investigação: *Ecological Dynamics and learning design in Sport*, chaired by Keith Davids & Duarte Araújo, realizado na FMH-UTL, 11-12 de Janeiro de 2012.

Carvalho, J., Araújo, D., & Travassos, B. (2011). *Coordenação espaço-temporal no ténis: Dinâmica das jogadas de fundo do court*. Simpósio sobre Análise do desempenho no ténis inserido nas XII Jornadas de Psicologia do Desporto e do Exercício, Algarve, Portimão. (comunicação por convite).

Carvalho, A., Araújo, D., & **Carvalho, J.** (2011). *Identificação e caracterização das situações de ruptura criadas a partir do fundo do court no ténis*. Simpósio sobre Análise do desempenho no ténis inserido nas XII Jornadas de Psicologia do Desporto e do Exercício, Algarve, Portimão.

Fonseca, S., Araújo, D., & **Carvalho, J.** (2011). *Análise da dinâmica espaço-temporal entre os jogadores de ténis*. Simpósio sobre Análise do desempenho no ténis inserido nas XII Jornadas de Psicologia do Desporto e do Exercício, Algarve, Portimão.

Carvalho, J., & Araújo, D. (2010). O Treino da Tomada de Decisão nos Jovens. Seminário Internacional do Treino do Jovem. Porto (comunicação por convite).

Carvalho, J., Araújo, D., Travassos, B. & Fernandes, O. (2010) *A dinâmica decisional no ténis*. Simpósio sobre Tomada de Decisão inserido no VII Congresso Luso-Espanhol de Psicologia do Desporto e do Exercício, Algarve, Lagoa. (comunicação por convite)

Carvalho, J., & Araújo, D. (2009). *Investigar o desporto: Uma aplicação no treino da tomada de decisão no ténis*. 3º Congresso dos Treinadores dos Países de Língua Portuguesa, Confederação Portuguesa das Associações de Treinadores, 16-18 Julho, Lisboa, Portugal.

Índice

1. Introdução	2
1.1. <i>Dinâmica ecológica como racional teórico para análise do desempenho no ténis</i>	6
1.2. <i>O estudo da interação com base na perspetiva da dinâmica ecológica</i>	10
1.3. <i>Objetivos da tese</i>	11
1.4. <i>Referências</i>	13
2. Contributo para a unificação do estudo do desempenho desportivo: o modelo eco-físico... 22	
2.1. <i>Resumo</i>	22
2.2. <i>Introdução</i>	23
2.3. <i>Unificação das diferentes abordagens à análise da performance: o modelo eco-físico</i> .. 25	
2.3.1. Quadrante Simples-Externo	30
2.3.2. Quadrante Simples-Interno.....	34
2.3.3. Quadrante Complexo-Externo	35
2.3.3.1. Perspetiva sequencial	35
2.3.3.2. Perspetiva Não-Linear	39
2.3.4. Quadrante Complexo-Interno	44
2.4. <i>A complementaridade entre as diferentes perspetivas</i>	47
2.5. <i>Referências</i>	49
3. Interpersonal dynamics on baseline rallies in tennis	60
3.1. <i>Abstract</i>	60
3.2. <i>Introduction</i>	61
3.3. <i>Methods</i>	63
3.3.1. Data Analysis	64
3.3.2. Reliability	68
3.4. <i>Results</i>	68
3.4.1. Patterns of Interpersonal Dynamics.....	68
3.4.2. Transition Situations	70
3.5. <i>Discussion</i>	73
3.5.1. Relative Position of the Players on the Court	73
3.5.2. Applications to Training	74
3.6. <i>Conclusion</i>	75
3.7. <i>References</i>	76
4. Dynamics of players' relative positioning during baseline rallies in tennis	80
4.1. <i>Abstract</i>	80

4.2. Introduction.....	81
4.3. Methods	83
4.3.1. Data collection	83
4.3.2. Data capture.....	84
4.3.3. Modeling players' advantage during the rally	85
4.3.4. Data analysis.....	86
4.3.5. Reliability	88
4.4. Results	88
4.4.1. Dynamics of interaction between players	88
4.4.2. Ruptures in the interpersonal dynamics during the rallies.....	89
4.5. Discussion	90
4.5.1. Practical applications	92
4.6. Acknowledgements	93
4.7. References	94
5. El entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis:¿qué fundamentos científicos se pueden aplicar en los programas de entrenamiento?	98
5.1. Resumen	98
5.2. Introducción.....	99
5.3. Programas de entrenamiento de la toma de decisiones en el deporte.....	100
5.3.1. Programas de entrenamiento perceptivo-cognitivo.....	101
5.3.2. Programas de entrenamiento basado en la comprensión previa a la acción	105
5.4. Propuesta de un nuevo programa de entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis	107
5.4.1. Manipular los constreñimientos de la tarea	109
5.4.2. Intervenir directamente en el jugador	111
5.4.3. Usar los <i>constreñimientos</i> del ambiente	112
5.5. Recomendaciones para investigaciones futuras	113
5.6. Referencias	114
6. Discussão Geral	122
6.1. Síntese dos resultados obtidos	122
6.2. Implicações Teóricas.....	126
6.3. Considerações metodológicas	127
6.4. Implicações Práticas	128
6.5. Futuras perspectivas de investigação	130
6.6. Referências	131

Figuras

As figuras estão numeradas conforme o respetivo número de capítulo.

Figura 2.1. Modelo eco-físico para a unificação dos estudos sobre performance desportiva. Gráfico a: Critérios associados ao Eixo Físico, Simples-Complexo; Gráfico b: Critérios associados ao Eixo Biológico, Interno-Externo.....	27
Figura 2.2. Exemplos da classificação de estudos no modelo eco-físico.	47
Figure 3.1. Schematic representation of the GDD Index proposed, which corresponds to the product between the distances of the player to the midline of the court (dml) and to the centre of the net (dn).	66
Figure 3.2. Exemplar data of GDD index representing the position of the players during a rally. The vertical lines represent the instants of the strokes (thick line) and of the bounces of the ball (dotted). If the players' lines are on the same side, both players are positioned on the same side of the court playing a cross-court rally. If the lines are on different sides the players are positioned facing each other (i.e., one on the right-hand side of the court and the other on the left-hand side).....	67
Figure 3.3. Exemplar patterns of interpersonal dynamics for different rallies. Inside of circle three patterns are identified: (A) cross-court forehand exchange; (B) cross-court backhand exchange and; (C) exchange with players facing each other.	69
Figure 3.4. Example of a transition situation involving an angle opening during a cross court backhand rally. Player 1 in the fifth stroke compels player 2 to increase his index from GDD=20 to GDD=98 by moving laterally out of the court, opening a lot of space on the right-hand side of the court for a counter attack of player 1.....	70
Figure 3.5. Example of a situation of rupture involving parallel variation. Player 1 in his sixth shot makes a parallel variation with a backhand down the line that compels player 2 to make a major move from the left-hand side of the court to the right-hand side. After this time, both players are playing facing each other and as player 1 strikes next shot he is closer to the centre of the court and/or of the baseline.....	71
Figure 3.6. Example of two conditions considering opponent position and game zones that allow players to explore the different transition situations during performance: A - zones where ball is not allowed to bounce; B - areas to place the opponent.	75
Figure 4.1. Schematic representation of the distance to the midline of the court (dml) and of the distance to the center of the net (dn) used to define the position of the players within the court.	84
Figure 4.2. Curves representing equal positional values of the players in tennis half-court, according to the proposed model. Equal color and thickness of the curves express the same positional advantage of the player on the tennis court.....	86

Figure 4.3. Exemplar data of the PA Index in the course of a rally. Negative values indicate a positional advantage of the closest player to the camera (PI1) and the positive values a positional advantage of the farthest player to the camera (PI2). The vertical line signals the stroke moment which, according to the expert coaches, induced a rupture on players' interaction. 89

Figure 4.4. Average (solid line) and standard deviation (dashed lines) of PA index, represented as an average band plus and minus standard deviation over time, considering the set of the analyzed trials. The vertical line signals the stroke moment which, according to the expert coaches, originated the situation of rupture. This was the moment used to synchronize the series. 89

Figure 4.5. Mean values of the % REC and the %MAXLINE before and after the break shot. 90

Figure 4.6. Between the ellipses drawn over the baseline there is a positional advantage of 20%. To draw the ellipses, the PA values were normalized in relation to the ellipsis (1) that goes over the central mark of the baseline, and to which we assigned value 100. In the A zones, the proportionality between dlm and dr as defined in the model changes and the positional disadvantage is even greater. 93

Tabelas

As tabelas estão numeradas de acordo com o respetivo número de capítulo.

Table 3. 1. *Criteria used to identify the strokes that originated ruptures in the rallies.* 65

Table 3. 2. *Comparison between patterns of play for each moment of play.* 72

Capítulo 1

Introdução Geral

*“Entre as formas ideais
Que em meu Entender abraço,
Há dois monstros colossais
Que se chamam Tempo e
Espaço
(...)
Dois legendários escolhos
Que não deixam nossos olhos
Navegar no Infinito.”*

(António Herculano de Carvalho, 2008, p. 377)

1. Introdução

A dinâmica de um jogo de ténis desenvolve-se através da variabilidade e incerteza das interações que se estabelecem entre dois jogadores ao longo de cada jogada (rally). Alternadamente cada jogador tenta enviar a bola para o campo adversário de modo a que este não consiga ou tenha dificuldade em a devolver. Cada um dos jogadores procura constranger espaço-temporalmente as ações do adversário, reduzindo as suas possibilidades de ação, ao mesmo tempo que tenta ampliar o seu leque de opções e tornar o seu jogo menos previsível. Neste contexto, a gestão do espaço e do tempo atuam como elementos fundamentais no processo de decisão e ação dos jogadores. Um jogador tenta consecutivamente intervir sobre o tempo de ação do adversário através da distância que o obriga a percorrer para interceptar a trajetória da bola que envia. Simultaneamente procura otimizar o tempo que tem para agir através do posicionamento que tem no campo face ao posicionamento do adversário.

Neste diálogo de oposição que caracteriza a interação no jogo de ténis de singulares, o espaço objetivo de jogo modela-se de acordo com a dinâmica posicional dos jogadores nos seus respetivos espaços de ação (Gorospe, 1998). No entanto, a forma como esta dinâmica de interação é regulada por ambos os jogadores face ao contexto de jogo durante a competição é um aspeto que necessita de uma melhor compreensão.

A investigação sobre perceção, ação e cognição no desporto tem focado preferencialmente a sua atenção nos mecanismos do indivíduo e desprezado a relação com o envolvimento (ver conceito de assimetria organísmica em Davids & Araújo, 2010b). Em grande parte dos estudos realizados neste âmbito, considera-se que os estímulos do envolvimento não são suficientemente ricos em informação, sendo o comportamento dependente de elaborados processos cognitivos que otimizam e especificam um dado programa motor (teoria do processamento de informação) (García-González, 2011; McPherson, 1999; McPherson & Kernodle, 2003). Deste modo, na perspetiva dos modelos de processamento de informação considera-se que a tomada de decisão é prévia à ação e produz-se tendo por base a recolha de informações do ambiente, que necessitam de um processamento prévio para se

tornarem providas de significado (García-González, Araújo, Carvalho, & Villar, 2011; Schmidt & Lee, 1999).

O estudo da tomada de decisão segundo esta perspetiva tem focado muito a sua atenção no desenvolvimento de métodos que permitam expressar e distinguir o rendimento dos jogadores peritos sobretudo através de diferenças no comportamento visual, tempo de reação, antecipação e controlo de movimentos, tempo de decisão ou orientação da atenção (para uma revisão ver García-González et al., 2011; Ripoll, 1991). Ainda de acordo com a teoria do processamento de informação, têm-se realizado grandes esforços para demonstrar a importância das estratégias cognitivas baseadas na memória e na estrutura do conhecimento nos processos de tomada de decisão e antecipação (Bar-Eli & Raab, 2006).

Um dos objetivos essenciais desta abordagem tem sido identificar as pistas de informação relevantes que podem ser utilizadas como pré-índices para antecipar as respostas dos oponentes em determinadas situações de jogo, e como é que essas pistas são usadas por jogadores de diferentes níveis de perícia (e.g., Abernethy, 1990; Farrow & Abernethy, 2002; Singer et al., 1998). Através da análise de aspetos centrados no indivíduo (e.g., análise biomecânica dos gestos técnicos, estudo das fixações visuais, utilização da oclusão temporal), em momentos antes ao impacto da raqueta com a bola, têm sido definidos os elementos que permitem prever a atuação dos oponentes (e.g., direção do batimento, trajetória e ressalto da bola) para antecipar a sua ação (Goulet, Bard, & Fleury, 1989; Moreno, Oña, & Martínez, 2002; Shim, Carlton, Chow, & Chae, 2005).

Embora estes estudos permitam compreender melhor a informação utilizada e a antecipação de ações numa resposta aos comportamentos adversários, assentam em premissas que podem ser limitadoras de uma maior generalização para a situação de jogo. Um aspeto a considerar é o facto dos jogadores apenas reagirem à informação que lhes é apresentada pelos investigadores, limitando a bi-direcionalidade de relações entre jogadores e ambiente. Em competição o desempenho dos jogadores, mais do que reações, tem por base interações (Araújo, Davids, & Hristovski, 2006), o que significa que a reação é apenas um comportamento ocasional no fluxo de ações do jogo. Por outro lado, o papel do indivíduo é sobrevalorizado, considerando-se que a tomada de decisão é um processo meramente interno sendo prestada pouca atenção

à constante relação de influência/interação entre ações do jogador, ações do adversário e alterações no envolvimento (Davids & Araújo, 2010a; Dunwoody, 2006).

Estudos recentes mostram que a tomada de decisão não pode ser considerada como um processo meramente interno, separado da ação. Foi verificado que as informações atendidas podem ser diferentes quando os executantes têm de realizar uma ação (percecionar para agir) em comparação com quando apenas verbalizam a sua ação ou realizam micro-movimentos (e.g. pressionar um botão para uma resposta discreta) (Dicks, Button, & Davids, 2010; van der Kamp, Rivas, van Doorn, & Savelsbergh, 2008). Assim, para uma maior compreensão do comportamento dos jogadores, estes estudos reclamam a necessidade de manter nas tarefas experimentais ou de treino a reciprocidade entre as condições informacionais que caracterizam o contexto de desempenho e as ações requeridas, isto é o acoplamento percepção-ação tal como acontece no contexto de prática (ver conceito de desenho representativo em Araújo, Davids, & Passos, 2007; Dicks, Davids, & Araújo, 2008; Pinder, Davids, Renshaw, & Araújo, 2011).

Tal como nos estudos de tomada de decisão, também ao nível da análise da performance no ténis tem existido uma certa desvalorização da influência do contexto no comportamento dos jogadores. Tem sido objetivo de diversos estudos neste âmbito saber quais são as ações que são realizadas com maior frequência em competição, mensurando comportamentos discretos, normalmente relacionados com o resultado. Os primeiros sistemas de análise do jogo de ténis assentam essencialmente na notação de aspetos centrados nas técnicas utilizadas pelos jogadores: *qual* o tipo de ação que é realizada, *onde* (no espaço) é realizada, *quantas* vezes e a valorização da sua eficácia em função do seu sucesso ou insucesso (e.g., O'Donoghue, 2002; O'Donoghue & Liddle, 1998; O'Donoghue & Liddle, 2001; Taylor & Hughes, 1997).

A identificação das ações realizadas pelos jogadores durante o jogo que estão relacionadas com o sucesso tem conduzido à pesquisa de associações entre um determinado resultado e as ocorrências anteriores, i.e., análise da sequencialidade (Gorospe, 1998; Gorospe, Hernández Mendo, Anguera, & Santos, 2005; McGarry & Franks, 1994). As ações dos jogadores são deste modo descritas sem haver a preocupação de se perceber *como* e *porque* surgem determinados comportamentos da interação jogador- adversário-envolvimento. A complexidade do jogo (sistema) é

reduzida através da sua divisão em partes, de modo a poderem ser regidas por poucas leis de carácter determinista que, sendo bem entendidas, permitem prever a sua evolução a longo prazo (Gleick, 1989).

Este posicionamento teórico tem mostrado diversas limitações. Por um lado, o conhecimento separado de cada um dos componentes pode não permitir a compreensão do comportamento global de um sistema que se caracteriza por uma multiplicidade de causas e efeitos que se interrelacionam (Passos, 2010). Durante um encontro de ténis a relação entre os jogadores está em permanente alteração, sendo as decisões e as ações dos jogadores constantemente constrangidas por múltiplos fatores (fadiga, características do piso, vento, ação do público, resultado, entre muitos outros), que são responsáveis por múltiplos efeitos. Por outro lado, nem sempre será válido considerar a variabilidade como um desvio ou erro de observação. A variabilidade pode ser funcional quando deriva da sensibilidade de ajustamento do comportamento humano às condições iniciais da tarefa. Pequenas variações nestas condições podem provocar resultados finais muito diferentes, que se forem tratadas como ruído não permitirão a compreensão da totalidade da informação que sustenta o funcionamento do sistema (Kelso, 1995). Deste modo, é necessário compreender melhor a forma como a informação relativa aos indicadores específicos de desempenho se relaciona com o resultado e com o comportamento dos jogadores em competição. A relação que se presume existir entre os indicadores de desempenho e o resultado competitivo continua pouco clara devido à falta de uma matriz teórica que permita contextualizar e compreender o comportamento dos jogadores em competição (Vilar, Araújo, Davids, & Button, 2012).

A competição desportiva é caracterizada por uma complexa interação dinâmica de constrangimentos relacionados com o indivíduo, com a situação de jogo propriamente dita e com as condições do envolvimento onde se desenrolam as ações (Araújo, 2009; Araújo & Carvalho, 2009; Davids, Button, & Bennett, 2008). A compreensão desta interação dinâmica requer uma abordagem que permita captar a sua evolução ao longo do tempo, sem ter de isolar as ações do tempo próprio em que ocorrem no fluxo do jogo (e depois serem coladas sequencialmente), e conhecer o modo como as ações dos jogadores são constrangidas (Araújo & Carvalho, 2009; Vilar et al., 2012).

Tendo por base a perspectiva da *Dinâmica Ecológica* o estudo do jogo pressupõe que o desempenho desportivo seja compreendido e analisado à escala da relação jogador-adversário-envolvimento (Davids & Araújo, 2010b). A explicação do comportamento dos jogadores segundo esta perspectiva baseia-se na compreensão do contínuo do seu curso de ação face às variações nas condições do ambiente. Ou seja, o objetivo é identificar e perceber os efeitos dos constrangimentos responsáveis pela condução das ações dos jogadores durante o jogo (e.g., posição em relação a determinados referenciais espaciais, parâmetros da trajetória da bola, resultado) (McGarry, 2009; Travassos, Araújo, Correia, & Esteves, 2010).

Esta tese é suportada teoricamente nos pressupostos da dinâmica ecológica. A dinâmica ecológica constitui-se como racional teórico ao permitir interpretar e atribuir significado aos dados que consubstanciam aspetos relevantes do sucesso e insucesso no desempenho desportivo. O estudo dos padrões de interação que se estabelecem durante o jogo permite elevar a validade das interpretações teóricas sobre a dinâmica do jogo, efetuadas com base nas estatísticas de desempenho. Isto é, passar do nível descritivo (o quê, quem, onde e quanto) para o explicativo de análise do jogo (o como e porquê). Apresentaremos em seguida os pressupostos teóricos essenciais desta abordagem e suas implicações na análise do desempenho no ténis.

1.1. Dinâmica ecológica como racional teórico para análise do desempenho no ténis

A Psicologia Ecológica, assenta na teoria da percepção direta de Gibson (1979) que defende que o indivíduo percecionar o mundo tal como ele é, e o que se pode nele fazer, de uma forma direta. Gibson (1979) considera que a informação do ambiente é provida de significado, não existindo necessidade de qualquer computação adicional (e.g., a posição do oponente em relação ao campo e à bola) para a percepção do contexto.

A regularidade do comportamento resulta do facto de as ações se tornarem funcionais na concretização do objetivo com base na percepção de informação relevante que especifica, face às características do indivíduo, oportunidades para agir (“affordances”) (Turvey, 1992; Turvey & Fonseca, 2008). As oportunidades para agir (affordances) são captadas pelo indivíduo com base na informação disponível no contexto, propriedades que especificam a realidade ecológica (substâncias, superfícies,

lugares, objetos e eventos), e de acordo com as suas capacidades para agir (estatura, fadiga, nível de expertise) (Michaels & Carello, 1981; Shaw, 2003).

Durante uma jogada, as oportunidades para agir (i.e., affordances) emergem da constante relação entre as capacidades momentâneas do jogador e a relação que este estabelece com o adversário no campo de jogo. A percepção dessa informação traduz o ajuste existente entre os constrangimentos do praticante e as propriedades do envolvimento (e.g., relação entre as capacidade do executante e o constrangimento espaço-temporal) (Fajen & Turvey, 2003; Turvey, 1992).

De acordo com esta perspectiva, a habilidade de utilizar fontes relevantes de informação que permitem concretizar os objetivos é uma característica dos jogadores peritos (Araújo & Davids, 2011; Correia, Araújo, Cummins, & Craig, in press). Para que um indivíduo consiga retirar a informação que é relevante na condução de uma ação em direção a um objetivo, é necessário que esteja sensível a essa informação. Este processo de utilizar a informação que permite identificar o modo de agir para atingir o objetivo desejado, é designado por afinação e é um processo que pode ser melhorado ao longo do tempo (Jacobs, Runeson, & Michaels, 2001; Jacobs & Michaels, 2007). O escalonamento que existe entre a informação e o movimento designa-se calibração (Wagman, Shockley, Riley, & Turvey, 2001). A afinação permite que o indivíduo use a informação que especifica as propriedades do ambiente que lhe permitem atingir o objetivo e a calibração permite ajustar a ligação entre informação e movimento. Um jogador experiente consegue simultaneamente captar a informação que é relevante e conduzir a ação até ao seu objetivo, expressando a coordenação e o controlo necessários para um comportamento funcional (Araújo & Carvalho, 2009). Deste modo, o controlo das ações é entendido em termos do acoplamento informação-movimento, no qual o participante utiliza de uma forma contínua a informação disponível no contexto para guiar as suas ações (Fajen & Turvey, 2003).

A percepção e a ação seguem ciclos de reciprocidade mútua onde a informação percecionada é funcionalmente relacionada com a ação e a ação que resulta influencia a informação que é percecionada (Shaw & Turvey, 1980). Esta relação recíproca entre percepção e ação é central para a compreensão da interação praticante-envolvimento sob influência dos constrangimentos informacionais existentes (Araújo & Davids, 2009).

De acordo com esta perspectiva, a funcionalidade do sistema humano não depende da existência de um centro executivo, mas sim emerge da atuação interligada dos seus componentes que é altamente dependente do contexto. A mente, o cérebro, o corpo, a informação e o envolvimento funcionam unitariamente como um sistema complexo à escala ecológica (Richardson, Shockley, Fajen, Riley, & Turvey, 2008). A coordenação que existe entre as unidades motoras, os músculos e articulações, por exemplo, na realização de um movimento desportivo, não resulta da propriedade específica de nenhum dos componentes em particular, mas sim das sinergias estabelecidas entre todos.

A variabilidade e a incerteza irredutível da dinâmica do jogo fazem com que cada situação de jogo seja única, irrepetível e por consequência imprevisível. Pequenas alterações no curso de ação podem originar múltiplas variações nas oportunidades de ação, o que implica a necessidade de haver uma atualização permanente da informação que guia a interação entre os jogadores e o envolvimento (Araújo et al., 2006). Deste modo, a explicação do comportamento decisional como sendo um processo antecipado de seleção entre soluções alternativas baseado em representações interna do mundo, parece não ser suficiente. No contexto do jogo não existe antecipadamente informação suficiente para planejar ações específicas. Mesmo que exista um plano prévio de ação que possa ter influência no comportamento dos jogadores, as condições de jogo sempre em mudança reclamam que a tomada de decisão e a ação sejam definidas momento-a-momento (Araújo et al., 2004), através de um processo ativo de exploração e seleção da informação relevante (especificadora) para regular as ações que permitem atingir o objetivo (Araújo & Davids, 2009; Araújo, Davids, Bennett, Button, & Chapman, 2004; Araújo et al., 2006).

Intimamente associado ao conceito de constrangimentos está o conceito de graus de liberdade (Araújo, 2009). Tanto mais graus de liberdade existem, quanto menos constrangimentos ligarem os elementos de um dado sistema. A ausência de constrangimentos é também um indicador de ausência de organização. Portanto, a organização de um dado sistema é caracterizada pelo modo como os seus elementos estão constrangidos, i.e., se lhes reduz graus de liberdade.

De acordo com a teoria dos sistemas dinâmicos, as alterações contínuas na interação dos constrangimentos do desempenho podem perturbar a estabilidade do

sistema e permitir que surjam novos estados estáveis de coordenação (transição) (Kelso & Engstrøm, 2006). Estas alterações podem levar o sistema a um ponto de bifurcação onde novas soluções emergem à medida que fica disponível no contexto mais informação específica capaz de constranger o sistema praticante-envolvimento a transitar (decidir) para um estado mais funcional (Araújo et al., 2006). Segundo esta perspectiva, a emergência desta transição para um estado mais funcional de organização do sistema é uma característica bio-física do processo de tomada de decisão (Araújo et al., 2006; Brehmer, 1992). O processo de tomada de decisão é então entendido como que o comportamento de ajuste funcional a determinadas condições do ambiente e que se expressa pela transição no curso de ação/interação dos jogadores (Araújo, Davids, & Hristovski, 2006). Por exemplo, no estudo de Hristovski, Davids, & Araújo (2006) realizado no boxe, verificou-se que através da alteração sistemática e gradual da distância escalonada boxeur-alvo, observam-se alterações nas soluções de movimento, e estas mudanças abruptas ou bifurcações nas soluções de movimento, ocorrem com maior probabilidade em determinadas distâncias. Estas transições entre modos de ação ou estados de organização, emergem na interação do pugilista com o alvo, dependentes das variações no seu campo perceptivo-motor (na sua aproximação ou afastamento). A capacidade de ser sensível a estas pequenas mudanças na distância, evidenciada no estudo, é intrínseca à tomada de decisão em contextos dinâmicos como é o caso do desporto (Araújo et al., 2006).

Uma característica essencial do comportamento desportivo é o seu caráter dinâmico, ou seja o fato de evoluir ao longo do tempo. A aplicação da teoria dos sistemas dinâmicos ao comportamento humano permite mostrar como os padrões de movimento coordenado emergem, persistem e mudam (Kelso, 1995; Kugler, Kelso, & Turvey, 1980). Segundo esta perspectiva, nos sistemas biológicos existe um grande número de componentes em interação em que o seu comportamento pode ser caracterizado através dos padrões que se formam espontaneamente (auto-organizam). Os padrões funcionais de comportamento emergem segundo um processo de auto-organização da interação que se estabelece entre os jogadores, a tarefa (o jogo) e o contexto (Araújo et al., 2004; Araújo et al., 2006). Dito de outra forma, de um grande número de possibilidades que são oferecidas ao indivíduo, a decisão e a consequente ação resultam da convergência da interação entre os diferentes

constrangimentos para um estado de coordenação sem qualquer imposição externa (Davids & Araújo, 2010b; Kelso, 1995). A possibilidade de se conhecer a dinâmica de um sistema através do estudo dos padrões emergentes de uma ou mais variáveis coletivas, sem ser necessário conhecer o comportamento individual de cada um dos seus componentes, parece ser um valioso contributo na compreensão do carácter dinâmico da interação nos jogos desportivos (Davids, Kingsbury, Bennett, & Handford, 2001).

Se situarmos este princípio ao nível do jogo podemos por exemplo perceber que o sucesso de uma ação tática pode emergir de diferentes movimentos dos jogadores ou de padrões táticos (Pinder, Davids, & Renshaw, In press; Scholz, Schöner, & Latash, 2000).

1.2. O estudo da interação com base na perspetiva da dinâmica ecológica

A análise do jogo segundo a perspetiva da dinâmica ecológica, procura perceber como é que a interação entre os jogadores e a informação do envolvimento constrange a emergência dos padrões de estabilidade (coordenação entre jogadores), e de instabilidade (perda de coordenação) e de quebra de simetria (como surgem novos padrões de coordenação). Neste sentido, os estudos de Araújo e colaboradores (e.g., Correia et al., 2012; Duarte et al., 2012; Esteves, de Oliveira, & Araújo, 2011; Travassos, Araújo, Vilar, & McGarry, 2011) têm demonstrado que o desempenho nos jogos desportivos resulta do processo de interação dinâmico que é estabelecido, em cada momento, entre os jogadores e/ou entre as equipas. Valorizando a singularidade e a especificidade dos processos de interação, procura-se desenvolver modelos capazes de descrever a *interação* e a *dinâmica* em diferentes jogos desportivos.

O estudo da coordenação interpessoal no desporto tem-se centrado essencialmente na análise de padrões específicos de coordenação espaço-temporal que se estabelecem entre os jogadores durante determinadas fases do jogo (e.g., relação entre defesas e atacantes nos desportos coletivos; *rallys* de fundo do court no ténis). Para captar a coordenação espaço-temporal entre os jogadores e o envolvimento têm sido utilizadas medidas, como distâncias, velocidades e ângulos, que expressam o deslocamento dos jogadores (e.g., vela e basquetebol: Araújo et al., 2006; futebol: Frencken & Lemmink, 2008; boxe: Hristovski, Davids, & Araújo, 2006; rugby:

Passos et al., 2009), e a fase relativa que informa como se sincronizam esses deslocamentos (e.g., basquetebol: Bourbousson, Sève, & McGarry, 2010; squash: McGarry, 2006; ténis: Palut & Zanone, 2005; futsal: Travassos et al., 2011). Os resultados destes estudos mostram que a coordenação dinâmica que se estabelece entre os jogadores, e consequentemente a tomada de decisão, são constrangidos pela informação da sua posição em relação aos outros jogadores e a referenciais espaciais considerados chave (e.g., o cesto, a baliza, a marca central do court).

No ténis, para além dos estudos efetuados com base na perspetiva sequencial (e.g., Gorospe, 1998), existem muito poucos estudos sobre a dinâmica da interação que se estabelece entre os jogadores. São exceção os estudos realizados por Palut e Zanone (2005) e por Lames (2006), que demonstram que o comportamento coletivo dos jogadores de ténis pode ser estudado com base nos modelos dos sistemas dinâmicos. Nestes estudos, a dinâmica dos deslocamentos realizados pelos jogadores, “para onde - e - de onde”, foi analisada através de uma medida de sincronização espaço-temporal, a fase relativa. Os resultados mostraram que durante uma jogada, devido ao facto de cada jogador tentar quebrar a estabilidade dos deslocamentos do seu adversário, é possível verificar momentos em que o modo de coordenação é estável e momentos de instabilidade ou de perturbação na sequência dos quais podem resultar novos padrões de coordenação (transição). Estas transições entre modos de coordenação expressam tomadas de decisão e representam variações táticas intencionalmente criadas pelos jogadores. O estudo da interação através da coordenação interpessoal constitui-se assim como uma forma inovadora e extremamente rica de compreender a dinâmica do jogo. Conhecer as variáveis que permitem descrever a dinâmica do jogo, como surgem as situações de desequilíbrio ou de rutura no jogo, qual dos jogadores num determinado instante está a ‘liderar’ o ponto ou a partir de que limites de perturbação deixa de ser possível manter ou restabelecer o equilíbrio na interação, são aspetos que necessitam de ser melhor compreendidos e justificam a pertinência desta tese.

1.3. Objetivos da tese

O propósito desta tese foi analisar a dinâmica da interação que se estabelece no ténis em situação de competição. Mais concretamente, procurámos perceber como

é que os jogadores coordenam as suas ações durante uma jogada de fundo do court e como é que a informação sobre o seu posicionamento no court constrange o desempenho. Tendo por base o quadro conceptual da perspectiva da dinâmica ecológica procurámos também apresentar algumas implicações para o treino do ténis.

Para o cumprimento destes objetivos elaborámos 4 artigos que compõem o corpo desta tese: 1 artigo de revisão em impressão (in press) num livro nacional da especialidade com revisão de pares, 2 artigos quasi-experimentais e 1 artigo de aplicação, publicados ou submetidos para publicação em revistas ISI. Cada um dos artigos é apresentado como um capítulo individual e de acordo com o formato exigido pela revista onde foi submetido.

No capítulo 2, procuramos fazer uma revisão crítica dos estudos que se têm desenvolvido no âmbito da análise de desempenho desportivo e apresentamos um modelo conceptual que pretende oferecer uma heurística para uma macro visão do desempenho desportivo. O modelo apresentado pretende integrar as diferentes perspectivas teóricas e os diferentes níveis de análise do desempenho desportivo. Pretende-se, por um lado, ligar uma visão linear, estática e analítica a uma visão não-linear dinâmica e multidimensional do comportamento desportivo e, por outro, relacionar a abordagem mais centrada na compreensão dos aspetos fisiológicos com a influência da ecologia física e social. Este capítulo ao enquadrar o estudo da interação no jogo e a perspectiva da dinâmica ecológica no universo das abordagens que têm sido efetuadas, permite compreender melhor o contributo que este trabalho poderá representar ao nível da análise do jogo e da definição das metodologias a adotar.

No capítulo 3, é apresentado um estudo quasi-experimental intitulado: *Interpersonal dynamics on baseline rallies in tennis*. Neste estudo propusemos uma função empírica, designada “goal-directed displacement index (GDD Index)”, que combina a componente lateral e longitudinal dos deslocamentos dos jogadores, com o objetivo de compreender o modo como a variação da posição no court entre jogadores constrange as suas possibilidades de ação durante a competição.

No capítulo 4, é apresentado um estudo com o título “*Dynamics of Player’s relative positioning during baseline rallies*” em que o objetivo foi analisar os padrões de coordenação interpessoal com base na posição relativa dos jogadores no court.

Neste estudo, avançamos em relação ao estudo anterior propondo um modelo (PA Index) que aperfeiçoa e formaliza a relação de proporcionalidade de interação existente entre a componente lateral e longitudinal dos deslocamentos dos jogadores. O modelo proposto atribui um “peso” à posição de cada um dos jogadores em relação à rede e à linha média do court e permite definir o jogador que se encontra em vantagem posicional ao longo da jogada.

No trabalho apresentado no capítulo 5, com o título “*El entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis: ¿qué fundamentos científicos se pueden aplicar en los programas de entrenamiento?*”, é realizada uma revisão dos estudos efetuados no âmbito do treino da tomada de decisão e, com base no racional teórico da dinâmica ecológica, é sugerida uma nova proposta de treino da tomada de decisão no tênis. Neste capítulo são também referidas algumas recomendações para futuros estudos no âmbito do treino da tomada de decisão.

Finalmente, no capítulo 6, discussão geral, são realçados e discutidos os principais resultados dos estudos efetuados de acordo com pressupostos teóricos da dinâmica ecológica. Procura-se demonstrar a importância dos constrangimentos informacionais relacionados com a posição dos jogadores no court para a exploração de possibilidades de ação em situação de competição.

1.4. Referências

- Abernethy, B. (1990). Expertise, visual search, and information pick-up in squash. *Perception*, 19, 63-77.
- Araújo, D. (2009). O desenvolvimento da competência tática no desporto: o papel dos constrangimentos no comportamento decisional. . *Motriz. Revista de Educação Física*, 15(3), 537-540.
- Araújo, D., & Carvalho, J. (2009). Tomada de decisão também se treina: uma aplicação no tênis. In R. B. A. Machado (Ed.), *O treinador e a psicologia do esporte* (pp. 115-140). São Paulo: Editora Atheneu.
- Araújo, D., & Davids, K. (2009). Ecological approaches to cognition and action in sport and exercise: Ask not only what you do, but where you do it. *International Journal of Sport Psychology*, 40(1), 5-37.

- Araújo, D., & Davids, K. (2011). Talent Development: From Possessing Gifts, to Funcional Environmental Interactions. *Talent Development & Excellence Interactions*, 3(1), 23-25.
- Araújo, D., Davids, K., Bennett, S., Button, C., & Chapman, C. (2004). Emergence of sport skills under constraints. In A. Williams & N. Hodges (Eds.), *Skill acquisition in sport: Research, theory and practice* (pp. 409-433). London: Routledge, Taylor & Francis.
- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653-676.
- Araújo, D., Davids, K., & Passos, P. (2007). Ecological validity, representative design, and correspondence between experimental task constraints and behavioral setting: Comment on Rogers, Kadar, and Costall (2005). *Ecological Psychology*, 19(1), 69-78.
- Bar-Eli, M., & Raab, R. (2006). Judgment and decision making in sport and exercise: Rediscovery and new visions. *Psychology of Sport and Exercise*, 7, 519-524.
- Bourbousson, J., Sève, C., & McGarry, T. (2010). Space-time coordination patterns in basketball: Part 1 - Intra- and inter-couplings amongst player dyads. *Journal of Sport Sciences.*, 28(3), 339 - 347.
- Brehmer, B. (1992). Dynamic decision making: Human control of complex systems. *Acta Psychologica*, 81, 211-241.
- Correia, V., Araújo, D., Cummins, A., & Craig, C. (in press). Perceiving and acting upon spaces in a VR rugby task: expertise effects in affordance detection and task achievement. *Journal of Sport & Exercise Psychology*.
- Correia, V., Araújo, D., Duarte, R., Travassos, B., Passos, P., & Davids, K. (2012). Changes in practice task constraints shape decision-making behaviours of team games players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15, 244-249.
- Davids, K., & Araújo, D. (2010a). The concept of 'Organismic asymmetry' in sport science. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 633-640.
- Davids, K., & Araújo, D. (2010b). Perception of Affordances in Multi-Scale Dynamics as an Alternative Explanation for Equivalence of Analogical and Inferential Reasoning in Animals and Humans. *Theory & Psychology*, 20(1), 125-134.

- Davids, K., Button, C., & Bennett, S. (Eds.). (2008). *Dynamics of skill acquisition: a constraints-led approach*. Champaign, IL: Human Kinetics
- Davids, K., Kingsbury, D., Bennett, S., & Handford, C. (2001). Information-movement coupling: Implications for the organization of research and practice during acquisition of self-paced extrinsic timing skills. *Journal of Sports Sciences*, 19(2), 117-127.
- Dicks, M., Button, C., & Davids, K. (2010). Examination of gaze behaviors under in situ and video simulation task constraints reveals differences in information pickup for perception and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 706-720.
- Dicks, M., Davids, K., & Araújo, D. (2008). Ecological psychology and task representativeness: implications for the design of perceptual-motor training programmes in sport. In Y. Hong & R. Bartlett (Eds.), *Routledge Handbook of Biomechanics and Human Movement Science* (pp. 129-139). Abingdon: Routledge.
- Duarte, R., Araújo, D., Travassos, B., Davids, K., Gazimba, V., & Sampaio, J. (2012). Interpersonal coordination tendencies shape 1-vs-1 sub-phase performance outcomes in youth soccer. *Journal of Sport Sciences*. DOI: 10.1080/02640414.2012.675081
- Dunwoody, P. T. (2006). The neglect of the environment by cognitive psychology. *Journal of Theoretical and Philosophical Psychology*, 26, 139-153.
- Esteves, P., de Oliveira, R., & Araújo, D. (2011). Posture-Related Affordances Guide Attacks in Basketball. *Psychology of Sport and Exercise*, 12, 639-644.
- Fajen, B., & Turvey, M. (2003). Perception, categories, and possibilities for action. *Adaptive Behavior*, 11, 276-278.
- Farrow, D., & Abernethy, B. (2002). Can anticipatory skills be learned through implicit video-based perceptual training? *Journal of Sports Sciences*, 20, 471-485.
- Frencken, W., & Lemmink, K. (2008). Team kinematics of small-sided soccer games: a systematic approach. In T. Reilly, Korkusuz, F. (Ed.), *Proceedings of the 6th World Congress on Science and Football* (pp. 161-166): London: Routledge.
- García-González, L. (2011). *Supervisión Reflexiva sobre las Variables Decisionales en Jugadores de Tenis (Unpublished doctoral dissertation)*. Universidad de Extremadura, Extremadura.

- García-González, L., Araújo, D., Carvalho, J., & Villar, F. (2011). Panorámica de las teorías y métodos de investigación en torno a la toma de decisiones en el tenis. *Revista de Psicología del Deporte*, 20(2), 645-666.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*: Houghton Mifflin Boston.
- Gleick, J. (1989). *A construção de uma nova ciência*. Lisboa: Gradiva, Publicações, L.^{da}.
- Gorospe, G. (1998). *Observación y análisis en el tenis de individuales. Aportaciones del análisis secuencial e de las coordenadas polares. (Unpublished doctoral dissertation)*. Universida del Pais Vasco, Vitoria.
- Gorospe, G., Hernández Mendo, A., Anguera, T., & Santos, R. (2005). Desarrollo y optimización de una herramienta observacional en el tenis de individuales. *Psicothema*, 12(2), 279-282.
- Goulet, C., Bard, C., & Fleury, M. (1989). Expertise differences in preparing to return a tennis serve: A visual information processing approach. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 11(4), 382-398.
- Hristovski, R., Davids, K., & Araújo, D. (2006). Affordance-controlled bifurcations of action patterns in martial arts. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 10(4), 409-444.
- Hristovski, R., Davids, K., Araújo, D., & Button, C. (2006). How boxers decide to punch a target: Emergent behaviour in nonlinear dynamical movement systems. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 60-73.
- Jacobs, D., Runeson, S., & Michaels, C. (2001). Learning to perceive the relative mass of colliding balls in globally and locally constrained task ecologies. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 1019-1038.
- Jacobs, D. M., & Michaels, C. F. (2007). Direct learning. *Ecological Psychology*, 19(4), 321-349.
- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*: The MIT Press.
- Kelso, J. A. S., & Engstrøm, D. A. (2006). *The complementary nature*: MIT Press.
- Kugler, P., Kelso, J., & Turvey, M. (1980). On the concept of coordinative strutures as dissipative strutures: I. Theoretical lines of convergence. In G. E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior* (pp. 3-47). New York: North-Holland.

- McGarry, T. (2006). Identifying patterns in squash contests using dynamical analysis and human perception. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(2), 134-147.
- McGarry, T. (2009). Applied and theoretical perspectives of performance analysis in sport: Scientific issues and challenges. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 9(1), 128-140.
- McGarry, T., & Franks, I. (1994). A stochastic approach to predicting competition squash match-play. *Journal of Sports Sciences*, 12, 573 - 584.
- McPherson, S. L. (1999). Expert-novice differences in performance skills and problem representations of youth and adults during tennis competition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70, 233-251.
- McPherson, S. L., & Kernodle, M. W. (2003). Tactics, the neglected attribute of expertise: Problem representations and performance skills in tennis. In J. L. Starkes & K. A. Ericsson (Eds.), *Expert performance in sports: Advances in research on sport expertise* (pp. 137-167). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Michaels, C. F., & Carello, C. (1981). *Direct perception*: Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Moreno, F. J., Oña, A., & Martínez, M. (2002). Computerized simulation as a means of improving anticipation strategies and training in the use of the return in tennis. *Journal of Human Movement Studies*, 42, 31-41.
- O'Donoghue, P. (2002). Performance models of ladies' and men's singles tennis at the Australian Open. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2(1), 73-84.
- O'Donoghue, P., & Liddle, S. D. (1998). A notational analysis of time factors of elite men's and ladies' singles tennis on clay and grass surfaces. In A. Lees, I. Maynard, M. Hughes & T. Reilly (Eds.), *Science and Racket Sports II* (pp. 241-246). London: E&FN Spon.
- O'Donoghue, P., & Liddle, S. D. (2001). A Notational Analysis of Elite Tennis Strategy. *Journal of Sports Sciences*, 19, 107-115.
- Palut, Y., & Zanone, P. (2005). A dynamical analysis of tennis: Concepts and data. *Journal of Sports Sciences*, 23(10), 1021-1032.
- Passos, P. (Ed.). (2010). *Rugby*. Cruz Quebrada: FMH Edições.

- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Serpa, S., Milho, J., et al. (2009). Interpersonal Pattern Dynamics and Adaptive Behavior in Multiagent Neurobiological Systems: Conceptual Model and Data. *Journal of Motor Behavior*, 41(5), 445-459.
- Pinder, R. A., Davids, K., & Renshaw, I. (In press). Metastability and emergent performance of dynamic interceptive actions. *Journal of Science and Medicine in Sport*
- Pinder, R. A., Davids, K., Renshaw, I., & Araújo, D. (2011). Representative Learning Design and Funtionality of Research and Praticice in Sport. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 33, 146-155.
- Richardson, M., Shockley, K., Fajen, B., Riley, M., & Turvey, M. (2008). Ecological Psychology: Six Principles for an Embodied-embedded Approach to Behavior. In P. Calvo & T. Gomila (Eds.), *Handbook of cognitive science: An Embodied Approach*. San Diego: Elsevier.
- Ripoll, H. (1991). The understanding -acting process in sport: the relationship between the semantic and the sensoriomotor visual funtion. *International Journal of Sport Psychology*, 22, 221-243.
- Schmidt, R., & Lee, T. (Eds.). (1999). *Motor control and learning - A behavioural emphasis* (3ª ed. ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Scholz, J., Schöner, G., & Latash, M. (2000). Identifying the control structure of multijoint coordination during pistol shooting. *Experimental Brain Research*, 135, 32-404.
- Shaw, R. (2003). The agent-environment interface: Simon's indirect or Gibson's direct coupling? *Ecological Psychology*, 15, 37-106.
- Shaw, R., & Turvey, M. (1980). Methodological realism. *The Behavioral and Brain Sciences*, 3, 94-96.
- Shim, J., Carlton, L., Chow, J., & Chae, W. (2005). The use of anticipatory visual cues by highly skilled tennis players. *Journal of Motor Behavior*, 37(2), 164-175.
- Singer, R. N., Williams, A. M., Frehlich, S. G., Janelle, C. M., Radlo, S. J., Barba, D. A., et al. (1998). New frontiers in visual search: an exploratory study in live tennis situation. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(3), 290-296.

- Taylor, M., & Hughes, M. (1997). A comparison of play of the top Under 18 junior tennis players in the world and Britain. In A. Lees, I. Maynard, M. Hughes & T. Reilly (Eds.), *Science and Racket Sports II* (pp. 260-265). London: E&FN Spon.
- Travassos, B., Araújo, D., Correia, V., & Esteves, P. (2010). Eco-Dynamics Approach to the study of Team Sports Performance. *The Open Sports Science Journal*, 3, 56-57.
- Travassos, B., Araújo, D., Vilar, L., & McGarry, T. (2011). Interpersonal coordination and ball dynamics in futsal (indoor football). *Human Movement Science*, 30, 1245-1259.
- Turvey, M. (1992). Affordances and Prospective Control: An Outline of the Ontology. *Ecological Psychology*, 4(3), 173 - 187.
- Turvey, M., & Fonseca, S. (2008). Nature of motor control: Perspectives and issues. In D. Sternad (Ed.), *Progress in Motor Control: A Multidisciplinary Perspective* (pp. 93-123). New York: Springer-Verlag.
- van der Kamp, J., Rivas, F., van Doorn, H., & Savelsbergh, G. (2008). Ventral and dorsal contributions in visual anticipation in fast ball sports. *International Journal of Sport Psychology*, 39(2), 100-130.
- Vilar, L., Araújo, D., Davids, K., & Button, C. (2012). The role of ecological dynamics in analysing performance in team sports. *Sports Medicine*, 42(1), 1-10.
- Wagman, J., Shockley, K., Riley, M., & Turvey, M. (2001). Attunement, calibration, and exploration in fast haptic perceptual learning. *Journal of Motor Behavior*, 33(4), 323-327.

Capítulo 2

Contributo para a unificação do estudo do desempenho desportivo: o modelo eco-físico¹

¹ Carvalho, J. & Araújo, D. (in press). Contributo para a unificação do estudo do desempenho desportivo: o modelo eco-físico. In A. Volossovitch, & A. P. Ferreira (Eds.) *Fundamentos e aplicações em análise do jogo*.

2. Contributo para a unificação do estudo do desempenho desportivo: o modelo eco-físico

2.1. Resumo

O objetivo deste capítulo é propor um modelo conceptual que integre e organize os estudos no âmbito da análise do desempenho desportivo. Quando se contrasta as diferentes abordagens e estudos sobre a análise do desempenho desportivo, surgem-nos dois eixos metateóricos: Eixo Simples-Complexo e Eixo Interno-Externo. O primeiro baseia-se essencialmente na Física (clássica e moderna) e liga uma visão linear, estática e analítica a uma visão não-linear, dinâmica e multidimensional do comportamento desportivo. O segundo eixo fundamenta-se na Biologia, enquanto ciência da vida, e pretende não só compreender os processos fisiológicos do desempenho desportivo, como também situá-lo na sua ecologia física e social. Em cada um dos eixos é possível admitir um *continuum* de diferentes estados de complexidade e de “exterioridade”. Para facilitar a classificação e o agrupamento de diferentes tipos de estudos no âmbito da análise do desempenho desportivo, podemos definir quatro quadrantes distintos resultantes da intersecção dos dois eixos: Simples-Interno, Simples-Externo, Complexo-Interno e Complexo-Externo. O modelo eco-físico parece oferecer uma heurística para uma macrovisão do desempenho desportivo, indo para além das perspetivas teóricas específicas de cada estudo, e permitindo ligar aspetos do estudo do desempenho desportivo que tradicionalmente têm sido estudados em separado.

2.2. Introdução

A análise do desempenho desportivo estuda os aspetos que influenciam o rendimento dos atletas e das equipas. Um aspeto interessante da análise do desempenho é debruçar-se sobre a observação dos comportamentos dos jogadores e das equipas, predominantemente em situação de competição. Contudo, existem casos em que a recolha dos dados tem a necessidade de ser efetuada num ambiente construído pelos investigadores (e.g., análise cinemática) ou com recurso a questionários e entrevistas (O'Donoghue, 2008).

O termo “análise do desempenho” é frequentemente utilizado na literatura científica de forma sobreposta ao de “análise do jogo”. Se quisermos ser precisos, a análise do desempenho tem um sentido mais abrangente e refere-se a qualquer modalidade desportiva, enquanto análise do jogo, embora tenha estado inicialmente muito relacionada com os aspetos táticos do jogo, engloba hoje o estudo dos diferentes fatores que influenciam o desempenho dos jogadores e das equipas no jogo – aspetos técnicos, táticos, fisiológicos e psicológicos (Júlio & Araújo, 2005). Uma outra particularidade da análise do desempenho é a preocupação com a aplicação prática, i.e. procura identificar e explicar de que modo interatuam os constrangimentos influentes no desempenho em cada modalidade, no sentido de se poder identificar um quadro de exigências que se constitua como referência para a organização do treino, visando um melhor desempenho em competição (Dufour & Verlinder, 1994; Garganta, 2001; Reep & Benjamin, 1968). Hughes e Bartlett (2008) referem cinco grandes áreas de aplicação da análise do jogo:

1. Avaliação tática: Descrição formal das interações comportamentais que explicam o sucesso e insucesso na competição;
2. Avaliação técnica: Identificação dos fatores de execução dos gestos técnicos (predominantemente biomecânicos) que são determinantes da sua eficácia e eficiência;
3. Análise do movimento: Muito ligada aos aspetos fisiológicos e à necessidade de quantificar o trabalho produzido e a energia despendida pelos diferentes jogadores em diferentes jogos desportivos;
4. Desenvolvimento de bases de dados e modelação: Construção de bases de dados sobre os diferentes indicadores de desempenho desportivo, com o objetivo de

formular modelos preditivos que possibilitem a melhoria dos processos de treino e do desempenho na competição;

5. Formação de treinadores e jogadores: Aplicação do conhecimento ao ensino e ao treino no sentido de verificar o seu valor prático.

O estudo do desempenho desportivo admite diferentes abordagens comportamentais. Tradicionalmente, a análise do desempenho é a área através da qual se estuda os aspetos táticos, técnicos, físicos ou fisiológicos recorrendo ao conhecimento proveniente de várias ciências e utilizando diferentes metodologias. O estudo do comportamento desportivo, devido à sua natureza e complexidade, reclama o contributo de várias áreas do conhecimento e permite abordagens baseadas em diferentes perspetivas teóricas, diferentes níveis de análise e diferentes métodos. O interesse pode estar mais centrado nos aspetos bioquímicos (e.g., utilização dos substratos energéticos durante a competição) ou fisiológicos do jogo (e.g., resposta respiratória, cardiovascular ou neuromuscular ao esforço), nos aspetos cinemáticos e cinéticos dos movimentos (e.g., relação biomecânica entre os diferentes membros), nos processos de coordenação ou de aprendizagem ou, mesmo, na interação que se estabelece entre os jogadores durante o jogo (e.g., organização tática ofensiva). Em termos psicológicos, por sua vez, o interesse centra-se no estudo das características do praticante, bem como nas estratégias para lidar com a adversidade e para otimizar o desempenho na competição. Embora cada uma destas abordagens se baseie em constructos teóricos próprios e utilize metodologias específicas, todas elas se têm centrado predominantemente sobre o produto do desempenho.

Em cada uma destas linhas de investigação, o conhecimento encontra-se de algum modo isolado, o que dificulta o acesso à informação que é considerada relevante para a compreensão do jogo (Garganta, 2001). Defendemos que é necessário contextualizar, por exemplo, o desempenho técnico relativamente ao objetivo que essa técnica permite atingir, perceber como podem os fatores de ordem fisiológica interagir com os comportamentos táticos, ou perceber a importância que têm os aspetos ligados à natureza da competição no desempenho (e.g., estrutura e importância da competição, a dinâmica interna do resultado). Seguindo este raciocínio, é cada vez mais difícil e artificial separar o que é técnico do que é físico ou tático, pelo

que, quando falamos em análise do desempenho, referimo-nos ao estudo do comportamento dos jogadores (individual) e das equipas (coletivo) no contexto do desempenho desportivo. Por outro lado, é importante destacar que o conceito de jogo pode ser entendido de uma forma mais lata, considerando todas as formas de competição desportiva (e.g., jogo de futebol, jogo de ténis, jogo de xadrez, jogo de setas). De acordo com este ponto de vista, neste capítulo utilizaremos o termo “análise do desempenho”, num sentido mais amplo, para nos referirmos à análise do comportamento dos atletas na situação de competição em qualquer modalidade desportiva. O nosso objetivo é identificar aspetos comuns aos estudos no âmbito da análise do desempenho e propor um modelo que os integre e permita organizar metateoricamente os estudos realizados nesta área.

2.3. Unificação das diferentes abordagens à análise da performance: o modelo eco-físico

A análise do desempenho pode ser realizada a diferentes níveis: do jogador, da equipa, ou das duas equipas em confronto (McGarry et al., 2002). Cada nível pode ser analisado do ponto de vista estrutural (e.g., a organização espacial dos elementos) ou do ponto de vista funcional (e.g., a contribuição de cada jogador para resultado do jogo) (Gréhaigne, 2001; Gréhaigne, Bouthier, & David, 1997; Gréhaigne & Godbout, 1995). A descrição e a interpretação da dinâmica do desempenho podem situar-se no nível do comportamento dos atletas e das equipas, mas também podem tomar em linha de conta os aspetos relacionados com o contexto em que a competição se desenrola – ambiente competitivo, evolução do resultado, tempo de jogo, atitude do público, local do jogo, importância do jogo, entre outros (Martín-Acero & Lago-Peñas, 2005).

Constata-se que o estudo do desempenho tem sido realizado, predominantemente, de forma analítica, pretendendo encontrar relações lineares de causa-efeito, e sem haver a preocupação de relacionar o conhecimento que é produzido nas diferentes abordagens realizadas (e.g., fisiológica e psicológica). Contrariando esta visão analítica, surge a visão sintética ou sistémica. Um sistema é um conjunto de entidades interdependentes e em interação que formam um todo integrado. Segundo Pidwirny (2006), uma característica comum ao funcionamento dos

sistemas é que estes implicam trocas de energia ou matéria que são depois processados, causando alguma forma de mudança. Por exemplo, um indivíduo é um sistema pois troca energia (e.g., ondas sonoras transformadas em impulsos elétricos) e matéria (e.g., ingere alimentos e expele fezes) com o seu meio ambiente. Estas trocas permitem que o indivíduo atue no seu meio e o modifique, sendo que, por sua vez, o meio ambiente constrange a ação do indivíduo.

Uma das classificações dadas aos sistemas é a de sistemas complexos. Quando se estuda este tipo de sistemas no desporto, pretende-se explicar como é que, da interação dos componentes que atuam segundo regras relativamente simples, surge a complexidade dos comportamentos que caracterizam a performance (Araújo & Davids, 2009). De notar que estes tipos de contraste (analítico-sintético, simples-complexo, indivíduo-ambiente, reducionista-globalista) são comuns em muitas ciências, desde há muitas décadas, sendo precisamente a união formal de posições contrastantes que tem permitido a evolução das ciências (para uma revisão, ver Kelso & Engström, 2006). Deste contraste de perspetivas que estudam o desempenho desportivo, identificamos dois eixos comuns:

- 1) eixo Físico: simples-complexo;
- 2) eixo Biológico: interno-externo.

Gráfico a

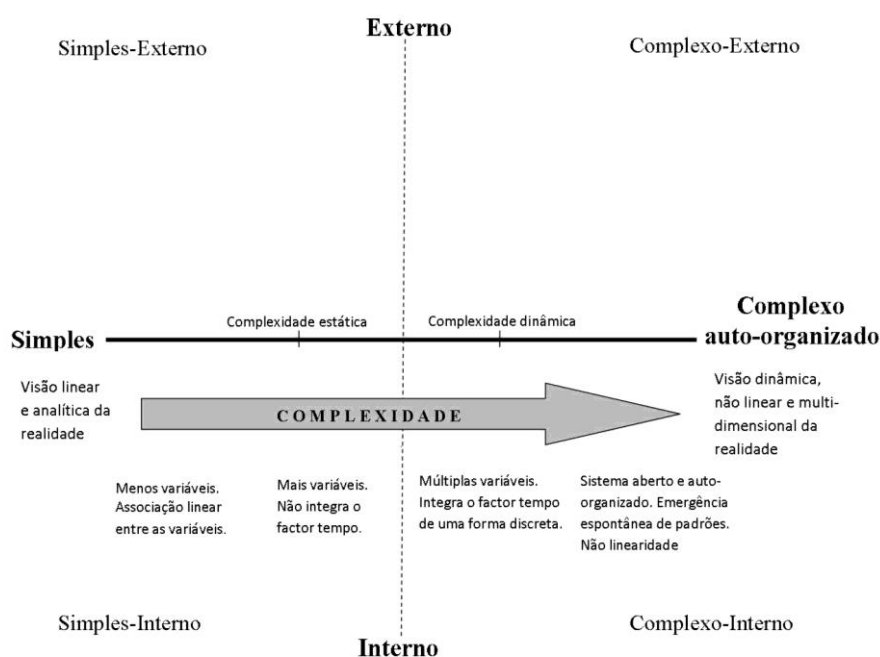


Gráfico b

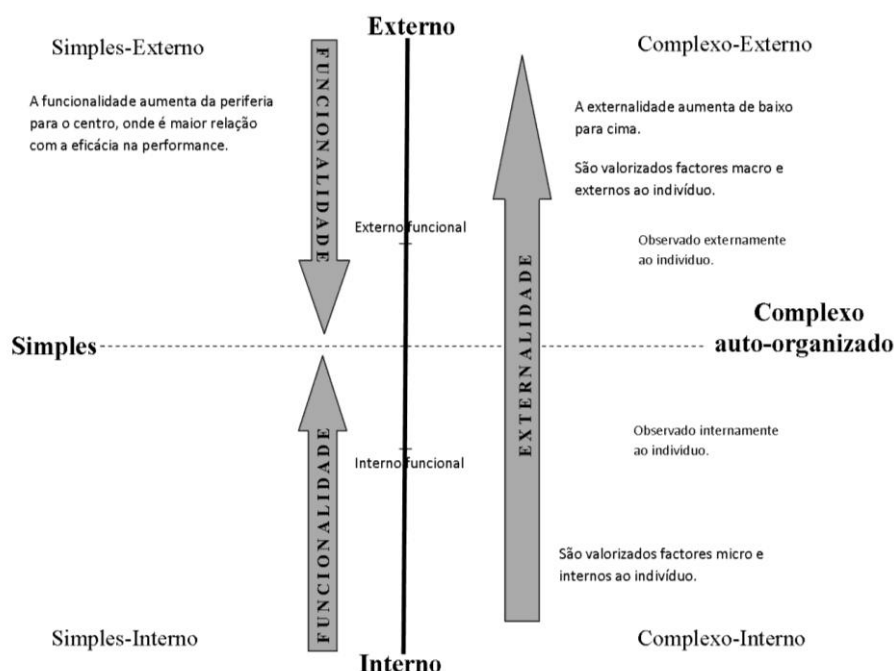


Figura 2.1. Modelo eco-físico para a unificação dos estudos sobre performance desportiva. Gráfico a: Critérios associados ao Eixo Físico, Simples-Complexo; Gráfico b: Critérios associados ao Eixo Biológico, Interno-Externo.

O primeiro eixo liga uma visão mais linear e analítica da realidade a uma visão mais dinâmica, multidimensional e não-linear do comportamento desportivo. Este eixo baseia-se essencialmente na Física, enquanto ciência que estuda as regularidades da natureza, e portanto permite classificar tanto os estudos mais newtonianos (de relações lineares de causa efeito), como aqueles mais ancorados na complexidade e na não-linearidade (e.g., sinérgica, homeocinética, termodinâmica). O tipo de relação entre variáveis e o seu número são os critérios para situarmos um estudo neste eixo. Neste sentido, e baseados em Lucas (1999), é possível atender-se a um *continuum* de complexidade que passa por diferentes estados:

1) Simples, em que há associação linear entre variáveis. Por exemplo, a relação entre frequência cardíaca e limiar aeróbio ou entre horas de prática e títulos conquistados;

2) Complexidade estática, em que se pretende quantificar o número de elementos de um sistema ou o número de interações dos elementos desse sistema, num dado momento, para compreender qual a razão de tais quantidades ou as

infinitas possibilidades combinatórias desses elementos. Por exemplo, a descrição de variáveis de um jogo, como sejam o número de passes e o tempo de posse de bola;

3) Complexidade dinâmica, em que se inclui, além das múltiplas variáveis do sistema, a variável tempo, percebendo-se regularidades temporais, que podem abranger diferentes estados transitórios, ao longo do tempo. Portanto, este tipo de complexidade implica a deteção de padrões. Por exemplo, a receção da bola sem oposição do lado esquerdo do meio campo adversário tem significativa probabilidade de gerar um passe para a área seguido de golo;

4) Complexidade auto-organizada, em que o sistema é visto como um sistema probabilístico aberto, onde o todo pode ter comportamentos para além das propriedades das partes, e de onde emergem soluções muitas vezes únicas de acordo com as diferentes configurações e constrangimentos. Por exemplo, o jogador perito de ténis que, na sequência de um *rally*, mesmo correndo de costas para o campo adversário, consegue *in extremis* bater a bola ao lado do seu corpo, colocando-a fora do alcance do adversário (Figura 2.1).

O segundo eixo fundamenta-se na Biologia, enquanto ciência da vida, e está mais relacionado com os objetivos da investigação do que com o número e tipo de variáveis que são estudadas. O posicionamento neste eixo pretende situar os fenómenos biológicos na sua ecologia² física (e.g., jogos em piso sintético) e social (e.g., jogos com estádio cheio). Daí o modelo ser designado “eco-físico”. O modelo permite classificar, quer os estudos com um foco mais interno relativamente ao atleta (fisiológico, psicológico, neurológico, anatómico, biomecânico), quer os estudos com um foco mais externo ao atleta (cultural, histórico-evolutivo, sociológico). Neste sentido, é possível atender-se a um *continuum* de “exterioridade” (leia-se: de aumento do foco na ecologia) que passa por diferentes estados:

² Ecologia é o estudo dos ecossistemas, i.e., a (inter)disciplina que descreve e explica as distribuições, a abundância e as relações de organismos e das suas interações com o ambiente (Begon et al., 2006). A ecologia surgiu das ciências naturais e está intimamente ligada à fisiologia, à evolução e ao comportamento. É, portanto, uma subdisciplina da biologia. Neste sentido, as abordagens ao estudo da ecologia são inúmeras: ecologia urbana, ecologia humana, ecologia comportamental, ecologia molecular, ecologia terrestre, psicologia ecológica. O estudo da ecologia terrestre (Odum, 2001) será com certeza muito mais macro (ou mais externa ao indivíduo) do que o estudo da percepção-ação de Gibson (1979). Além disso, uma visão macro da ecologia não está diretamente preocupada com a eficácia (funcionalidade) de um dado comportamento do indivíduo, o que contrasta com, por exemplo, a psicologia ecológica de Gibson. Mas, mesmo dentro da psicologia ecológica, há vários níveis de externalização do comportamento (Araújo, 2009).

1) Interno, que se caracteriza pela quantificação de variáveis internas ao desportista (para “dentro da pele”). Por exemplo, a frequência cardíaca média de maratonistas de alta competição em repouso;

2) Interno funcional, em que se associam aspetos internos com o desempenho (i.e., analisam-se variáveis internas de acordo com a função que desempenham ou com o seu contributo para o resultado da performance). Por exemplo, a redução da atividade cortical dos atiradores de alto nível no momento que antecede o tiro;

3) Externo funcional, em que se procura ver o impacto de variáveis externas no desempenho. Por exemplo, a influência dos “jogos em casa”, do tipo de piso ou do ruído no número de golos das equipas;

4) Externo, que procura caracterizar demograficamente uma dada modalidade. Por exemplo, o número de estrangeiros nas equipas nacionais de primeiro nível ou a variação ao longo de uma época do número de pessoas a assistir aos jogos de futebol de uma dada equipa.

De notar que existe uma zona interativa, ou de mutualidade e indivisibilidade do eixo interno-externo, precisamente na transição do interno funcional para o externo funcional, em que as variáveis medidas não são nem internas nem externas, mas de interação. Por exemplo, o estudo do passe no voleibol implica simultaneamente a ação do passador (com as suas características “internas”, e.g., inteligência tática, velocidade) relativamente ao seu colega de equipa e uma configuração ambiental que torna o passe possível. De facto, há diversas variáveis deste tipo em diferentes situações desportivas, como sejam a distância do jogador ao cesto ou à rede, a distância entre os jogadores, o tempo para preencher um espaço entre jogadores (a variável *tau* – Lee, 1998), ou a fase relativa de dois jogadores acoplados (Palut & Zanone, 2005).

Embora as diferentes investigações possam apresentar posicionamentos teóricos distintos, os estudos podem ser classificados num espectro contínuo de possibilidades ao longo de cada um dos eixos apresentados. Todavia, classificar os estudos coloca, pelo menos, duas dificuldades. Por um lado, a diferenciação dos estudos depende da forma como são valorizados aspetos como a incerteza, a variabilidade, o processo, o produto, a função, a estrutura ou a temporalidade. Por outro, cada estudo pode ter mais de um nível de análise, o que acarreta implicações evidentes nas opções

metodológicas que se tomam e na interpretação que pode ser feita dos dados. Não obstante estes aspetos, o modelo que propomos pode captar aspetos essenciais dos estudos sobre a performance, classificando-os e distinguindo-os (Figura 2.1). Além disso, é importante clarificar que este modelo se situa a um nível metateórico, procurando organizar a investigação feita sobre a análise do desempenho. Neste sentido, pretende-se avaliar a literatura nesta área atendendo aos dois eixos descritos e não à posição teórica adotada em cada estudo revisto.

A interceção do eixo da complexidade com o eixo da “exterioridade” define quatro quadrantes distintos que, vistos na sua maior distância à origem das coordenadas, podem de modo heurístico assumir as designações de Simples-Interno; Simples-Externo; Complexo-Interno e Complexo-Externo. Esta simplificação permite ter uma noção geral de cada um dos quadrantes e perceber onde os diferentes estudos na literatura se situam em cada um dos quadrantes. Por exemplo, um estudo que se centre essencialmente na descrição de frequências acumuladas no final da partida sobre variáveis fisiológicas do jogador (e.g., número de vezes que os jogadores de uma equipa ultrapassaram os 180 batimentos cardíacos por minuto) poderia ser classificado no quadrante Simples-Interno. No entanto, se forem utilizadas variáveis estatísticas acumuladas de vários jogadores referentes a parâmetros que traduzam a relação com o adversário ou a fatores externos ao jogo como o “fator casa”, a posição deste estudo no modelo será no quadrante Simples-Externo. Se houver a tentativa de explicar o resultado através da leitura simultânea de diferentes variáveis neurofisiológicas, fisiológicas e biomecânicas, ao longo do tempo, o estudo pode classificar-se como Complexo-Interno. No caso de se considerarem padrões formados por diversas variáveis como o tipo de adversário, o tipo de competição, o momento do jogo ou a sequência de ações de jogo, poder-se-á classificar como Complexo-Externo. Para clarificar o modelo, tentaremos classificar em cada um dos quadrantes alguns estudos que julgamos serem representativos das principais abordagens que têm sido realizadas ao nível da análise do desempenho desportivo.

2.3.1. Quadrante Simples-Externo

Os estudos que se enquadram dentro deste quadrante assentam numa perspectiva estática de análise que está muito associada a uma visão analítica

(newtoniana) do jogo, são essencialmente de natureza descritiva e comparativa e tentam relacionar os padrões apresentados por diversos indicadores de desempenho com o resultado. Os sistemas de observação utilizados são essencialmente descritivos, sendo as ações categorizadas, codificadas e registadas em sistemas de registo concebidos para esse efeito. Tradicionalmente, é registada (normalmente a posteriori através de vídeo) a ocorrência das ações que contribuem para caracterizar o perfil dos jogadores ou das equipas (Hughes & Franks, 2004; Garganta, 2001): a) quem realizou a ação (qual jogador?); b) que tipo de ação foi realizada (que ação?); c) em que posição estava o jogador que a realizou (onde no campo?); d) quando é realizada a ação (em relação ao resultado ou ao tempo jogado); e) qual o resultado dessa ação; g) qual a sua duração (durante quanto tempo?).

A análise estatística do jogo baseia-se na observação do comportamento dos jogadores e permite caracterizar o jogo quanto às soluções mais utilizadas e mais eficazes, aos erros que são cometidos ou às soluções que são utilizadas com maior frequência em momentos específicos do jogo. Esta informação, recolhida com base num número significativo de situações diferentes, revela-se importante na preparação dos jogos, na medida em que pode ajudar a descrever o comportamento dos jogadores e das equipas. Por exemplo, saber que um jogador de ténis normalmente tem uma percentagem de primeiros serviços acima de 70%, que em 30% dos primeiros serviços sobe à rede, ou que 80% dos erros que comete são com o batimento de esquerda ou, ainda, que perde 80% dos pontos que duram mais do que cinco batimentos pode ter grande utilidade na definição de uma estratégia para abordar um encontro. Estes dados são utilizados frequentemente para descrever padrões de jogo e identificar perfis de atuação ligados ao sucesso e ao insucesso, para caracterizar a configuração dos posicionamentos dos jogadores no campo em determinadas situações de jogo (e.g., ataque, contra-ataque, finalização) ou mesmo para mostrar as tendências de evolução das modalidades (Gréhaigne, 2001; Volossovitch, 2008). Por outro lado, a acumulação desta informação em bases de dados permite definir valores padrão que servem de referência para a avaliação do desempenho. Esta perspetiva tem atraído o interesse dos investigadores e têm sido realizados muitos estudos baseados em parâmetros estatísticos em diversas modalidades desportivas (e.g., Alcock & Cable, 2009; Csataljay, O'Donoghue, Hughes, & Dance, 2009; Lago-Peñas,

Rey, Lago-Ballesteros, Casais, & Dominguez, 2009; Luhtanen, Belinskij, Häyrinen, & Vanttinen, 2001; Johnson & McHugh, 2006; Magnus & Klaassen, 1999a; 1999b; O'Donoghue, 2002; O'Donoghue & Liddle, 1998; O'Donoghue & Ingram, 2001; Palao, Manzanares, & Ortega, 2009; Sampaio & Janeira, 2003). De uma maneira geral, todos estes estudos podem ser classificados no quadrante Simples-Externo. Por um lado, porque procuram explicar o desempenho através do comportamento observável dos indivíduos e, por outro, porque centram a análise na frequência de ocorrência de determinados comportamentos, considerados independentes uns dos outros e da sua interação ao longo do tempo jogado. Um exemplo típico deste quadrante é a “*Interacting Performances Theory*” (e.g., O'Donoghue, 2009) que se baseia no pressuposto de que o desempenho dos jogadores é influenciado pela qualidade (probabilidade de ganhar o encontro, *ranking*) e pelo tipo de oposição (forma como joga) que é estabelecida pelo adversário. Para se perceber como podem os estudos ser diferenciados dentro de um quadrante, analisámos os estudos de O'Donoghue (2002) e de O'Donoghue e Ingram (2001) para classificá-los no modelo.

O'Donoghue (2002) tenta produzir um modelo de desempenho, para os sexos masculino e feminino, que permite distinguir os jogadores vencedores dos derrotados, com base no comportamento (estatístico) de um conjunto de indicadores (variáveis táticas) considerados relevantes no jogo de ténis. Os indicadores utilizados (e.g., *winnings* por erro não forçado, percentagem de pontos ganhos na rede, número de *breakpoints* convertidos e salvos, etc.) foram calculados através de análise da frequência de ocorrência de determinados comportamentos dos jogadores durante o jogo (e.g., número de pontos disputados, pontos ganhos com 1.º e 2.º serviços, ases, duplas faltas, subidas à rede, etc.). Estes comportamentos foram analisados de forma independente e sem referência ao tempo jogado, sem entrar em linha de conta com o comportamento do adversário. O facto de o foco de análise estar centrado em aspetos relacionados com as ações do indivíduo (eficácia das ações técnicas na relação com o adversário), independentemente do comportamento do adversário, situa este estudo no eixo biológico ao nível externo funcional. Em relação ao eixo físico, deverá situar-se ao nível da complexidade estática, dado que analisa diversas variáveis em diferentes momentos de uma forma linear e univariada (compara e relaciona variáveis duas a duas) – para ver a posição deste estudo no modelo, consultar a Figura 2.2.

No estudo de O'Donoghue e Ingram (2001), os autores procuraram verificar a influência do género e das características do piso do campo na estratégia de jogo em jogadores de ténis de elite. Nos torneios de Grand Slam entre 1997 e 1999, os autores analisaram variáveis relacionadas com o tempo (duração das jogadas, entre serviços e entre pontos) e o perfil do ponto (número de batimentos, tipo de ponto – às, dupla falta, serviço “ganhante”, resposta “ganhante”, etc. – e resultado do ponto). Os dados relativos a estas variáveis foram depois comparados nos quatro torneios e entre os sexos através de procedimentos estatísticos não paramétricos. Este estudo diferencia-se do de O'Donoghue (2002), pelo facto de tentar verificar o efeito de aspetos externos ao jogo (e.g., diferentes tipos de piso) no desempenho dos jogadores. Neste sentido, em termos do eixo biológico, deve ficar colocado mais perto do *externo*. Em relação ao eixo da complexidade, situa-se ao mesmo nível do estudo de O'Donoghue (2002) (ver posição do estudo no modelo – Figura 2.2)

Atualmente são apontadas algumas críticas a esta perspetiva de análise, nomeadamente ao facto de a seleção dos indicadores de desempenho ser feita na convicção de que as ações selecionadas são determinantes para o desempenho, independentemente do contexto em que elas foram realizadas (McGarry, 2009). Quando se diz, por exemplo, que uma jogada iniciada no corredor central, que depois evolua para centro ao primeiro poste, do lado direito, tem maior probabilidade de resultar em golo, o contexto defensivo em que este tipo de ataque pode ser eficaz está a ser ignorado. Uma outra crítica é que a identificação e a interpretação do comportamento tático dos jogadores e das equipas são feitas fora do contexto dinâmico do jogo com base na apreciação (estatística) destes dados e na sua relação com o resultado final. Ou seja, não contempla as modificações do sistema ao longo do tempo (Volossovitch, 2008) nem a interação que se estabelece com o contexto. Por último, os investigadores partem do princípio de que as ações dos jogadores são simples reações aos estímulos provenientes do contexto e todas elas têm o mesmo peso na interpretação da dinâmica do jogo (e.g., todas as posses de bola são oportunidades ofensivas, ou cada erro tem a mesma origem) (McGarry et al., 2002).

De uma maneira geral, os estudos realizados no âmbito da análise do desempenho procuram caracterizar a movimentação dos jogadores (tipo de movimento e sua duração – Carling et al., 2008; O'Donoghue, 2008) e avaliar

indiretamente o esforço que é realizado (e.g., Bagsbo et al., 1991; Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2004; Jones, 2009; Mohr et al., 2003; Reilly & Thomas, 1976). Neste tipo de estudos, é normalmente contabilizada a frequência e a duração de cada tipo de movimentação de acordo com sistemas de classificação das diferentes formas de movimentação, específicos para cada modalidade desportiva (e.g., *Bloomfield Movement Classification*). As ações são tratadas independentemente do contexto em que ocorrem e de uma forma discreta (independentes umas das outras). A análise do desempenho é centrada em aspetos observáveis do comportamento dos jogadores (e.g., andar, correr lentamente, saltar, “correr rapidamente”, mudar de direção – Reilly & Thomas, 1976), sem se considerarem as circunstâncias que ao longo do tempo tornam estas ações relevantes. Deste modo, podemos considerar que estes estudos também se podem situar no quadrante simples-externo do modelo.

2.3.2. Quadrante Simples-Interno

Os estudos inseridos neste quadrante procuram a explicação para o desempenho em variáveis internas ao indivíduo, tais como os aspetos bioquímicos da atividade (e.g., atividade de determinada enzima, papel das lipoproteínas de alta densidade, equilíbrio ácido-base), os aspetos biomecânicos das técnicas (e.g., relação mecânica entre segmentos, *momentum* angular, força produzida), a exigência fisiológica do esforço (e.g., frequência cardíaca, consumo de O₂, acumulação de ácido láctico) ou, ainda, aspetos psicológicos (e.g., capacidade de concentração, atenção, auto-confiança, controlo emocional, auto-regulação; ver Ali e Farrally, 1991; Elliott, Marshall e Noffal, 1995; Markou e Vagenas, 2006; Van Gool, Van Gerven e Boutmans, 1983). Um dos aspetos que caracteriza este quadrante é o facto de as variáveis serem estudadas de uma forma estática, i.e., pretende-se conhecer o valor destas variáveis num determinado instante e não a forma como variam ao longo do tempo.

Os estudos de Markou e Vagenas (2006) e de Ali e Farrally (1991) podem servir-nos como exemplo. No estudo de Markou e Vagenas (2006), o objetivo foi quantificar de uma forma detalhada as assimetrias musculares em jogadores de voleibol de elite (jogadores atacantes). O facto de serem utilizadas diversas variáveis para caracterizar as assimetrias e terem sido identificadas de forma discreta situa o estudo perto da complexidade estática. Por outro lado, em relação ao eixo biológico, deverá ser

classificado como interno, porque não se associam aspetos do funcionamento interno ao desempenho, ou seja não é estabelecida nenhuma relação com uma medida de eficácia relacionada com o jogo (Figura 2.2).

No estudo de Ali e Farrally (1991), os autores procuraram caracterizar as necessidades fisiológicas impostas durante um jogo de futebol através da frequência cardíaca. A caracterização do esforço foi feita com base nos valores médios obtidos pelos diferentes níveis de jogadores em cada uma das posições. Este estudo diferencia-se do anterior sobretudo pelo reduzido número de variáveis que envolve, pela simplicidade do seu tratamento (apenas média e desvio padrão) e por as medidas da variável estudada (FC) terem sido obtidas em situação de jogo. Deste modo, a sua classificação em relação ao eixo biológico deverá ser mais perto do interno funcional, mas mais chegado ao Simples, em relação ao eixo da complexidade (Figura 2.2).

2.3.3. Quadrante Complexo-Externo

Neste quadrante, a análise do desempenho é vista na sua complexidade, desempenhando o fator tempo um papel essencial na compreensão da dinâmica dos comportamentos dos jogadores e das equipas, dado que constrange a utilização do espaço e a realização das ações motoras. Dentro deste quadrante, podem ser identificadas duas formas distintas de atender ao fator tempo na análise do desempenho. Por um lado, o tempo pode ser entendido como uma referência discreta da ordem de ocorrência de eventos do jogo, onde a ideia de *continuum* é vista através da sequencialidade das ações (denominada perspetiva sequencial). Por outro lado, o fator tempo está embutido no próprio sistema, ou seja co-evolui com o ambiente e rege-se por princípios de auto-organização e não-linearidade (a esta chamamos perspetiva não-linear). Apresentamos, em seguida, os principais pressupostos em que assentam cada uma destas perspetivas de análise e tentaremos dar alguns exemplos de estudos realizados neste âmbito.

2.3.3.1. Perspetiva sequencial

Os estudos realizados nesta perspetiva procuram perceber os fatores que induzem desequilíbrio na relação que se estabelece entre os jogadores e as equipas, através da análise das regularidades. O objetivo é identificar as sequências de condutas que, de acordo com as suas características (frequência, duração ou ordem) e

a sua relação com o resultado, permitam perceber a conexão que se estabelece entre os jogadores e interpretar a dinâmica do jogo. Esta abordagem tem a vantagem de permitir reconhecer os padrões de sequências de ações que estão associados à eficácia no jogo e que podem ser considerados fundamentais para o resultado final. Neste contexto, as ações críticas são aquelas que acontecem frequentemente associadas a uma alteração no resultado ou no comportamento dos jogadores. Procura-se compreender o jogo numa perspetiva temporal sequencial, partindo do pressuposto de que as observações que são efetuadas em diferentes períodos do mesmo encontro (as sequências de eventos ou ações) são independentes umas das outras e contribuem, todas elas, para o resultado final.

Têm sido desenvolvidos diversos estudos de acordo com esta perspetiva, que, embora utilizem metodologias diferenciadas de acordo com os parâmetros que são analisados (frequência, duração ou ordem), podem ser incluídos no quadrante complexo-externo do modelo: *Unidades de competição*: Alvaro et al. (1995); *Análise sequencial*: Ardá (1998), Garay Plaza, Hernández Mendo e Morales Sánchez (2006), Gorospe, Hernández Mendo, Anguera e Santos (2005), Hernández Mendo (1996) e Prudente (2006); *Análise de unidades tácticas/sequências de jogo*: Garganta (1997); *Análise de coordenadas polares*: Gorospe (1998, 2000), Gorospe e Anguera (2000) e Lago e Anguera (2002); *Análise de padrões temporais*: Anguera e Jonsson (2003) e Borrie, Jonsson e Magnusson (2002).

Esta linha de investigação apresenta algumas vantagens importantes em relação à descrição baseada nas frequências de acontecimentos. É introduzida uma perspetiva qualitativa na avaliação dos eventos do jogo, é assegurada a contextualização dos eventos recolhidos no ambiente de interação do jogo e as regularidades verificadas nas interações entre os diversos comportamentos são apresentadas em termos probabilísticos (Volossovitch, 2008).

O estudo de Gorospe (2000) exemplifica esta perspetiva. Gorospe recorreu à análise sequencial³ para identificar as jogadas padrão que podem acontecer no jogo de ténis de singulares. Analisando a distância de interação entre os jogadores, a ação de batimento e de deslocação dos jogadores, Gorospe define um sistema de categorias

³ Análise sequencial de transições ou “retardos” – técnica de análise de comportamentos que, a partir da sequência dos eventos (ordem), permite detectar padrões sequenciais (Gorospe, 1998).

que caracteriza as diferentes situações de jogo (servidor em continuidade, recebedor em continuidade, jogador de intercâmbio em continuidade e jogador de rutura). Seguidamente, através da análise de coordenadas polares⁴, tenta perceber, em relação aos padrões que foram considerados mais importantes (focais), qual o significado e a natureza das relações que se estabelecem entre os jogadores. Este estudo, embora se baseie num número alargado de variáveis para compreender o comportamento dos jogadores ao longo do tempo, utiliza o tempo relativo à unidade “sequência” de uma forma discreta e admite que as sequências de ação são independentes umas das outras. Por outro lado, considera a influência do adversário e a eficácia das ações no jogo. Deste modo, pode ser classificado no modelo ao nível externo funcional (Figura 2.2).

Uma outra linha de investigação que assenta nos mesmos pressupostos e que também pode ser referida neste quadrante é o estudo dos momentos críticos⁵ baseados na dinâmica tempo-resultado. Partindo do princípio de que o jogo é um processo que assume diferentes estados em função da relação que se estabelece entre variáveis de tempo e de resultado, pretende-se identificar o impacto de determinados acontecimentos do jogo no resultado final (Volossovitch, 2008). A dinâmica do resultado, referenciada ao tempo jogado e ao nível de equilíbrio que se estabelece entre os jogadores ou as equipas, permite contextualizar os acontecimentos do jogo.

Nestes estudos, pretende-se identificar os momentos (intervalos de tempo) em que o rendimento dos jogadores se reflete mais na dinâmica do resultado (variações no equilíbrio do marcador). Neste âmbito, uns estudos situam-se mais na procura dos indicadores que mais influenciam o resultado nos últimos momentos do jogo (e.g., Martín & Lago, 2005; Ribeiro & Sampaio, 2001; Sampaio, Ferreira, Ibañez, & Ribeiro, 2004), outros dedicam-se a avaliar a evolução do resultado através da eficácia (i.e. número de golos) em diferentes períodos do jogo e a sua relação com o resultado final do jogo (e.g., Mortágua, 1999; Sousa, 2000; Vuleta, Milanovic, Gruic, & Ohnjec, 2007) e outros estudos procuram, ainda, identificar os períodos críticos como episódios em que se quebra o equilíbrio na evolução do resultado e que permitem identificar a

⁴ Análise de coordenadas polares – técnica de análise que permite o desenvolvimento de mapas conceituais (representação vetorial) que revelam as relações que se estabelecem entre as diferentes categorias que compõem o sistema (a ação de jogo, neste caso). O módulo do vetor representa o significado da relação e o ângulo a sua natureza inibidora ou excitadora (Gorospe, 1998).

⁵ Momento crítico – “(...) episódio dentro do próprio jogo que é responsável pela rutura com uma determinada continuidade” (Ferreira, 2006, p. 264).

relação que se estabelece entre as equipas vencedoras e vencidas (e.g., Ferreira, 2006; Kozar, Vaught, Whitfield, Lord, & Dye, 1994; Oliveira da Silva, 2005; Ribeiro, 2004; Ribeiro & Sampaio, 2003; Sampaio, Lorenzo, & Ribeiro, 2006). O facto de estes estudos procurarem assegurar um grande número de variáveis que influenciam o rendimento das equipas (e.g., aspetos ofensivos, defensivos, desempenho dos adversários, contributo individual dos jogadores, duração, local) e integrarem o fator tempo (i.e., a evolução do resultado é estudada ao longo do tempo), posiciona-os, em relação ao eixo da complexidade, ao nível da complexidade dinâmica. Por outro lado, dado que estes parâmetros expressam a eficácia tática das equipas e a relação que é estabelecida com o adversário, em relação ao eixo biológico, situam-se também ao nível do externo funcional (ver o exemplo de Sampaio et al., 2006 – Figura 2.2).

Na perspetiva sequencial de análise, o contexto competitivo pode assumir grande importância na compreensão do jogo e muitas vezes é caracterizado em função do equilíbrio do resultado, do nível de oposição ou da importância do jogo em causa (Volossovitch, 2008). Como já foi referido anteriormente, sempre que este tipo de variáveis forem incluídas nos estudos, pode ser-lhes atribuído um carácter de maior “exterioridade”, o que implica que a sua classificação no modelo se aproxime da dimensão externo.

Estes estudos, embora procurem perceber a dinâmica do jogo, centram-se fundamentalmente em variáveis de produto (o resultado, uma determinada ação ou sequência de ações). Este tipo de informação permite saber que acontecem variações ou momentos críticos no jogo, quando acontecem e que comportamentos lhes estão associados (e.g., ações técnicas, posicionamento relativo no campo, resultado de ações antecedentes), mas dificilmente se consegue saber porque é que surgem. Ou seja, estes estudos não nos informam sobre quais foram os constrangimentos que ocasionaram a ocorrência desses comportamentos, nem nos esclarecem sobre o modo como esses constrangimentos interagiram para que se desse essa ocorrência. Esta limitação levanta a necessidade de se encontrar uma abordagem teórica que permita complementar o nível descritivo da análise de sequências discretas de ações (quem, o quê, onde e quando) com um nível explicativo capaz de mostrar o como e o porquê das ações do jogo. Em suma, uma perspetiva de análise que permita descrever formalmente a dinâmica de uma competição desportiva como um sistema complexo

que evolui de forma não-linear, através das relações espaço-temporais que se estabelecem entre os jogadores. Este é precisamente o objetivo da perspectiva que a seguir descrevemos.

2.3.3.2. Perspetiva Não-Linear

O carácter complexo e multidimensional da atividade competitiva dificulta a identificação dos fatores que são relevantes no rendimento desportivo (Volossovitch, 2008). A perspetiva de análise que designamos não-linear baseia-se nas leis naturais, tal como preconizado pela psicologia ecológica⁶ (Gibson, 1979; Kugler & Turvey, 1987) e pelo paradigma dos sistemas dinâmicos (Haken, Kelso, & Bunz, 1985; Kelso, 1995) que fundamentam a abordagem não-linear do comportamento no desporto (Araújo, 2006). A perspetiva não-linear está associada ao conceito de complexidade auto-organizada (Lucas, 1999) e surge da aplicação deste racional teórico ao estudo da dinâmica do desempenho desportivo.

A variabilidade e a instabilidade das possibilidades de ação que caracterizam a competição, com especial destaque para os jogos desportivos, exigem que os jogadores tenham de ajustar-se permanentemente às condições em que o jogo se desenrola para poderem experimentar o sucesso. Estas propriedades são consideradas estruturantes do próprio jogo e admite-se que através delas é possível identificar e quantificar padrões de comportamento e transições entre padrões. O jogo é, então, visto como um sistema dinâmico composto por muitas partes em interação (McGarry et al., 2002; Araújo et al., 2004). Parte-se do princípio que o comportamento dos jogadores é constrangido pelo efeito combinado das exigências específicas da tarefa, das características biomecânicas e percetivas de cada indivíduo e das condições do ambiente (Araújo et al., 2006). O contexto e as condições específicas em que as ações são realizadas assumem uma enorme importância na compreensão da dinâmica que é estabelecida no jogo. O facto de o sistema co-evoluir com o seu ambiente legitima que as suas funções possam ser descritas em termos da relação que é estabelecida com o ambiente, onde o resultado e o tempo assumem um papel importante na caracterização do contexto de jogo (Volossovitch, 2008).

⁶ Psicologia ecológica assume a existência de uma relação de reciprocidade entre o indivíduo e o ambiente que em conjunto formam um ecossistema, onde a biologia se associa à física em conjunto com a psicologia para estudar o comportamento humano a uma escala ecológica (Turvey & Shaw, 1995).

As perspectivas de análise que foram anteriormente apresentadas são essencialmente descritivas e dizem-nos pouco sobre porque é estabelecida uma determinada interação (e.g., um ataque). Compreender quando se ganha devido aos erros que o adversário comete e não tanto devido à dinâmica que se conseguiu imprimir ao jogo ou, pelo contrário, perceber que se pode estar a criar situações de grande dificuldade ao adversário, mas que por pequenos desajustes não se ganham os pontos, pode fazer toda a diferença na análise que se faz do jogo (Araújo & Carvalho, 2009).

A capacidade de captar o que de relevante ocorre no jogo deve incidir na dinâmica de interação que se estabelece entre os jogadores e na forma como determinada ação emerge do universo das soluções possíveis. Ou seja, o que atrai um jogador, com as suas características, para a realização de um determinado comportamento (Araújo & Carvalho, 2009). A análise do jogo deve conseguir captar a complexidade e a dinâmica através da descrição da evolução da relação funcional (equilíbrio/desequilíbrio, vantagem/desvantagem, continuidade/interrupção) que se estabelece ao longo do tempo entre os jogadores ou as equipas (Volossovitch, 2008).

A ideia de que o jogo representa um sistema que se rege por princípios de auto-organização e não-linearidade é um pressuposto expresso nos trabalhos realizados nesta perspectiva. Ou seja, o comportamento coletivo dos jogadores, de acordo com os constrangimentos existentes no contexto, tem a propriedade de se alterar de forma espontânea (sem interferências externas ao sistema; e.g., do treinador), para atingir o objetivo desejado (Araújo, 2006).

O estudo do jogo, nesta perspectiva, procura justamente identificar as variáveis que sintetizam, numa só medida, esse comportamento coletivo do sistema (variáveis coletivas ou parâmetros de ordem⁷). O objetivo é encontrar padrões de comportamento e transições associadas a esses padrões que expressem a dinâmica que é estabelecida no ambiente de variabilidade que caracteriza o desempenho em competição (Araújo, 2006).

⁷ O parâmetro de ordem é uma variável coletiva que expressa a coordenação dos componentes do sistema e permite captar a forma como os padrões de comportamento se formam e evoluem ao longo do tempo. Para informação mais completa, ver Araújo (2006), Handford e colegas (1997) e Kelso (1995).

Segundo McGarry e colegas (2002), para que um confronto desportivo possa ser considerado um sistema auto-organizado não-linear, precisa de apresentar um conjunto de princípios dinâmicos:

1. Poder ser descrito em termos de parâmetros de ordem e de controlo⁸;
2. Exibir uma tendência geral para a estabilidade;
3. Manifestar, ou não, um aumento de variabilidade (instabilidade) antes de qualquer transição não-linear do seu comportamento.

Atualmente, a investigação nesta perspetiva tem-se dedicado a demonstrar que as diferentes modalidades podem ser estudadas como um sistema dinâmico não-linear com propriedades de auto-organização que emergem do resultado da interação que se estabelece entre elementos do sistema. Para isso, por um lado procura-se demonstrar a existência de padrões de coordenação interpessoal entre os jogadores (da mesma equipa ou de equipas diferentes) e, por outro, verificar se o comportamento de séries temporais, relativas às variáveis coletivas (parâmetros de ordem), apresenta propriedades dos sistemas dinâmicos (e.g., mudanças qualitativas, saltos abruptos, flutuações críticas, histerese, etc.) – para uma revisão mais detalhada, ver Araújo (2006) e Kelso e Schoner (1988). Para McGarry e colegas (2002), no estudo dos padrões espaço-temporais nos jogos coletivos, as relações que se estabelecem entre os jogadores podem ser vistas a dois níveis: entre dois jogadores (um-contra-um) ou entre duas equipas (muitos-contra-muitos). Por sua vez, o acoplamento que se estabelece entre os jogadores pode ser analisado na mesma equipa (intra-acoplamento) ou entre equipas diferentes (inter-acoplamentos).

Embora existam ainda relativamente poucos estudos realizados nesta linha de investigação, estes começaram por ser feitos em desportos onde se verificam atividades de 1x1, tais como *squash* (e.g., McGarry et al., 1999; McGarry, 2006), ténis (Lames, 2006; Palut & Zanone, 2005), basquetebol (Araújo Davids, Sainhas, & Fernandes, 2002; Araújo, Davids, Bennett, Button, & Chapman, 2004; Araújo, Davids, & Hristovski, 2006), *rugby* (Passos et al., 2006, 2008, 2009) e futebol (Duarte et al., 2010). Tal justifica-se por haver menos jogadores em interação (uma só díade) e, no caso dos desportos de raqueta, pelo facto de as ações (os batimentos) serem realizados

⁸ O parâmetro de controlo é uma variável não específica ao sistema, que o “obriga” a passar de um estado (padrão ou atrator) para outro. Para informação mais detalhada, ver Araújo (2006), Handford e colegas (1997) e Kelso (1995).

alternadamente, o que torna mais simples a identificação de movimentos dos jogadores como osciladores acoplados.

O estudo de Palut e Zanone (2005), por exemplo, analisou a dinâmica dos deslocamentos laterais dos jogadores de ténis, numa jogada de fundo do campo. Os deslocamentos “para onde” e “de onde” foram analisados em relação a uma posição de referência localizada no centro da linha de fundo do *court*. Partindo do princípio que o jogo de ténis é um sistema formado por dois osciladores não-lineares acoplados, estudaram a interação que se estabelece entre os jogadores (coordenação interpessoal), através de uma medida adaptada de sincronização temporal entre os deslocamentos realizados, designada fase relativa⁹. Os resultados deste estudo mostram que a fase relativa é uma variável coletiva pertinente, capaz de descrever a estabilidade e a variação dos deslocamentos relativos dos jogadores, que pode apresentar dois padrões estáveis de sincronização: a) em fase, quando os jogadores se deslocam na mesma direção, que acontece com maior frequência; b) em anti-fase, quando os jogadores se deslocam em direções opostas, que aparentemente é um estado atrator mais estável (i.e. um estado para onde tende o sistema “atacante-defesa em jogo”).

O facto de cada jogador tentar quebrar a estabilidade dos deslocamentos do seu adversário permite verificar momentos em que o padrão de sincronização (fase relativa) é estável (fase e anti-fase) e momentos de instabilidade ou perturbação desse padrão (flutuações e transição de fase). Este estudo mostra que o jogo de ténis pode ser estudado como um sistema auto-organizado e que os modelos dos sistemas dinâmicos são adequados para investigar o comportamento coletivo dos jogadores de ténis. Este aspeto é importante, pois prova que a acção desportiva não é determinada antecipadamente (não é automatizável, robotizável), contrariamente a grande parte dos pressupostos da metodologia do treino, mas que emerge da interação circunstancial dos constrangimentos do indivíduo, do ambiente e da tarefa.

Araújo e colegas (2002, 2004, 2006) estudaram a relação de 1x1 numa situação de progressão para o cesto no basquetebol, utilizando a distância entre o cesto e o ponto médio entre o atacante e defesa como variável coletiva e a distância

⁹ Variável informacional que capta quantitativamente a relação espaço-temporal entre dois agentes (Oullier & Kelso, 2009).

interpessoal como o parâmetro de controlo. Neste estudo, o objetivo foi verificar se, e a partir de que limites, as alterações na distância interpessoal estão associadas ao sucesso do atacante ultrapassar o defesa com o objetivo de progredir para o cesto. Os resultados mostraram haver um acoplamento involuntário entre os jogadores e que a destabilização da díade estava associada a valores críticos da distância interpessoal. Araújo concluiu que a ação de progredir para o cesto emerge da interação que se estabelece, nomeadamente ao nível da distância interpessoal. Na interação que se estabeleceu entre os jogadores foram encontradas transições (ordem-ordem) entre os estados coordenativos estáveis (atratores) (Araújo et al., 2006).

Nos desportos coletivos, quando se pretende estudar a equipa como um todo, coloca-se a necessidade de conhecer a interação que se estabelece entre os jogadores e entre as equipas. É de esperar que a equipa que defende tente jogar de uma forma compacta (distância pequena entre os jogadores) e a equipa que ataca jogue mais em profundidade e em largura, no sentido de criar desequilíbrios e a abertura de espaços vazios (perturbações). Deste modo, a análise do comportamento da equipa como um todo requer que se encontre uma medida que expresse como os jogadores estão distribuídos em profundidade e largura no campo (a sua dispersão) e a sua localização. Neste âmbito, Bourbousson, Sève e McGarry (2010a, 2010b) realizaram recentemente dois estudos sobre a coordenação espaço-temporal que se estabelece durante um jogo de basquetebol. No primeiro estudo, tentaram verificar a dinâmica global dos deslocamentos longitudinais (cesto-a-cesto) e laterais (lado-a-lado) das equipas, através do acoplamento que se estabeleceu entre diferentes díades de jogadores da mesma equipa (intra-acoplamento) e de equipas diferentes (inter-acoplamento). A análise da fase relativa dos deslocamentos dos jogadores em diversas sequências de jogo, permitiu descrever a dinâmica espaço-temporal que se estabelece no jogo de basquetebol. No segundo estudo, os autores em vez de estudarem a dinâmica do jogo através da interação que se estabelece entre múltiplas díades, definiram medidas que expressassem o comportamento global da equipa em termos do seu deslocamento longitudinal e lateral (*centro geométrico*, índice de alongamento e índice relativo de alongamento)¹⁰. Deste modo, analisaram o acoplamento existente entre os valores

¹⁰ *Spacial Centre* – posição referente às médias das coordenadas de todos os jogadores da equipa. *Stretch Index* – medida da dispersão média dos jogadores em relação ao *spacial centre* (média das distâncias de jogador ao *spacial*

dessas medidas ao longo das sequências de jogo selecionadas (fase relativa). Os dados da fase relativa referentes aos centros geométricos (mais do que as outras medidas) foram os mais expressivos, mostrando que esta medida parece ser um bom indicador da relação espaço-tempo que se estabelece ao nível dos deslocamentos horizontais e laterais das equipas.

Os exemplos apresentados (Araújo et al., 2006; Bourbousson et al., 2010a, 2010b; Palut & Zanone, 2005) valorizam, todos eles, o estudo de variáveis que expressem o aspeto interativo (e.g., quebras de simetria, distância ao cesto, ao centro do campo ou entre jogadores). A ação emerge espontaneamente da interação que é estabelecida com o contexto, ou seja, tanto os aspetos internos como os aspetos externos contribuem para a explicação. Esta abordagem é, portanto, complementar a uma análise centrada nos aspetos descritivos do jogo. Ao compreendermos como evolui um sistema (e.g., um jogo) para os seus diferentes estados (o porquê de determinado comportamento), caracterizando os seus padrões dinâmicos e o modo como transitam entre si (como e quando ocorre esse comportamento), então podem ser explicadas as descrições do comportamento do tipo o quê (e.g., número de assistências), quem (e.g., atacante direito), onde (e.g., no último terço do corredor direito) e quando (nos últimos cinco minutos do jogo). Deste modo, em relação ao eixo biológico, estes estudos deverão situar-se ao nível da interatividade entre interno e externo. Por outro lado, o facto de estas variáveis serem estudadas ao longo do tempo e se admitir o seu comportamento não-linear situa estes estudos em relação ao eixo da complexidade perto da auto-organização (ver classificação destes estudos na Figura 2.2).

2.3.4. Quadrante Complexo-Interno

Os estudos que pertencem a este quadrante envolvem um grande número de variáveis, as quais são consideradas ao longo do tempo. Quanto maior for o número de variáveis a evoluir em simultâneo e a não-linearidade dessa evolução, mais no sentido da auto-organização os estudos devem ser classificados. Podemos, então, encontrar estudos que centram a análise ao nível de aspetos bioquímicos, fisiológico ou biomecânicos, mas nos quais se pretende identificar os padrões de comportamento

centre). Relative Stretch Index – diferença entre o *stretch index* de cada equipa em cada instante. Medida definida para precaver o efeito de ruído dos dados relativos ao *stretch index*.

das variáveis ao longo do tempo em diferentes tipos de tarefas desportivas (e.g., Bahamonde, 2000; Barrantine, Matsuo, Escamilla, Fleisig, & Andrews, 1998; Elliott, Baxter, & Besier, 1999; Elliott, Fleisig, Nicholls, & Escamilla, 2003; Elliott & Wood, 1983; Hiroyuki, Ikegami, Kozakai, Apriantono, & Sano, 2006; Schwieger & Baca, 2002). Consideremos como exemplo o estudo de Barrantine e colegas (1998) sobre a análise cinemática dos movimentos do pulso e do antebraço no lançamento da bola de baseball. Neste estudo, foram analisadas a posição relativa do antebraço e do pulso (e.g., flexão, desvio radial e ulnar, pronação, supinação) em diferentes fases do movimento (preparação, aceleração e desaceleração) e a velocidade de saída da bola, em três diferentes tipos de lançamento (*fastball*, *curveball* e *change-up*). Foram registadas as variações das posições relativas dos segmentos ao longo das três fases do movimento. Depois, foi realizada a comparação dos padrões temporais encontrados em cada um dos tipos de lançamento, utilizando os valores médios encontrados nas posições segmentares que caracterizavam cada uma das fases. De destacar que, embora se tente identificar os padrões temporais que caracterizam os diferentes tipos de lançamento (noção de continuidade), a sua comparação é feita apenas pontualmente em determinadas posições (discretizou-se o tempo). Deste modo, este estudo deverá situar-se no modelo ao nível interno funcional (relação com o tipo de lançamento e a velocidade de saída da bola) e no início da complexidade dinâmica (Figura 2.2).

À semelhança do que se verifica no quadrante complexo-externo, neste quadrante podemos encontrar estudos que considerem o comportamento desportivo como um sistema complexo auto-organizado. Ou seja, estudos que pretendem compreender quais os fatores internos (biológicos) que são responsáveis pelo desempenho, que resultam da interação não-linear entre múltiplos componentes internos ao sistema. Embora existam ainda poucos estudos realizados de acordo com esta perspectiva, podemos identificar pelo menos dois campos de aplicação distintos.

Por um lado, ao nível da análise da técnica, existem os estudos realizados sobre a coordenação intra- e intersegmentar que recorrem aos conceitos da teoria dos sistemas dinâmicos para perceber as relações temporais que se estabelecem entre as variáveis (e.g., Anderson & Sidaway, 1994; Moriss, 1998; Temprado, Della-Graa, Farrel, & Laurent, 1997). Estes estudos mostram que a fase relativa (conceito que

referimos na perspetiva não-linear) permite saber se a movimentação relativa dos segmentos se desenvolve primordialmente em fase ou em anti-fase e quantificar a sincronização temporal que se estabelece durante a execução dos gestos técnicos. Esta possibilidade de quantificar a coordenação permite conhecer aspetos específicos das técnicas desportivas e de que forma elas evoluem com o treino e a experiência. Estes estudos deverão situar-se no modelo mais próximo da auto-organização – ver Moriss (1998) na Figura 2.2.

No estudo de Garcia-Manso e colegas (2008) sobre *powerlifting*, com o objetivo de tornar mais justa a competição, os autores questionam o processo que gera o resultado final, bem como a definição das diferentes categorias de levantadores de peso. Descreveram as relações que se estabelecem entre as variáveis biológicas directamente responsáveis pela capacidade de produzir força (e.g., composição corporal, massa muscular, sessão transversal do músculo, massa magra, estatura), entre as variáveis competitivas (e.g., regras da competição, número de praticantes, definição das categorias dos levantadores, dinâmica interna dos diferentes movimentos) e os resultados nas competições. Os dados mostraram que o resultado da competição parece ser influenciado por constrangimentos internos e externos e que a competição nesta modalidade apresenta um conjunto de características típico de sistemas complexos (e.g., distribuição de acordo com as leis de potência *power law*) e que a sua dinâmica se assemelha à dos sistemas de criticalidade auto-organizada. Este estudo levanta uma questão muito interessante: a possibilidade de haver estagnação na evolução do desempenho numa determinada modalidade, associada à relação que se estabelece entre os constrangimentos biológicos (genéticos, estatura, peso, composição corporal, $VO_{2máx.}$, força, velocidade, etc.) e os constrangimentos competitivos (regras, dimensões do espaço de jogo, etc.). A compreensão das relações que se estabelecem entre fatores internos e externos atribui um carácter de maior externalidade a este estudo, relativamente aos outros referidos neste quadrante (Figura 2.2).

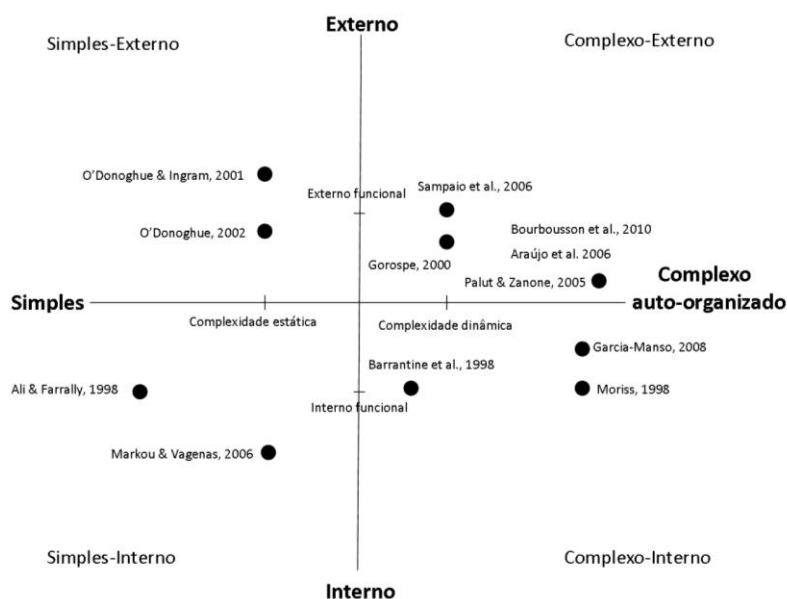


Figura 2.2. Exemplos da classificação de estudos no modelo eco-físico.

2.4. A complementaridade entre as diferentes perspectivas

As diferentes perspectivas que foram apresentadas refletem a tendência que tem seguido a investigação no âmbito da análise do desempenho. Partindo de posicionamentos teóricos distintos em relação à forma como o ser humano percebe a realidade e age para atingir um determinado objetivo, deram origem a metodologias que permitem captar informação distinta sobre a natureza do jogo. Contudo, podem assumir papéis claramente complementares. Do ponto de vista do treinador e do jogador, a descrição do jogo em termos da frequência de ocorrência das ações associadas ao seu resultado (Quadrante Simples-Externo) tem a virtude de permitir relacionar os dados com valores normativos de referência (e.g., no ténis: percentagem de primeiros serviços, número de erros não forçados). É preciso dizer que a combinação de diferentes indicadores ou a sua relativização em relação ao número total de ocorrências podem conferir a este tipo de dados um valor informativo muito superior (e.g., no ténis: percentagem de primeiros serviços/ases; *winner*s/erros, etc.). A possibilidade de saber em que sequência e quando no tempo jogado (sequência temporal) essas ações foram realizadas, qual a sua relação com o resultado e se

obedeceram a algum padrão (perspetiva sequencial do Quadrante Complexo-Externo) torna, por sua vez, a informação sobre o jogo mais contextualizada. No entanto, para o treino faz toda a diferença conhecer as razões que estão na origem dessas ações (ou sequências de ações), ou seja, quais foram os constrangimentos do contexto que determinaram a sua ocorrência. Para isso, uma vez que a origem de uma ação não está “na cabeça” do jogador mas na dinâmica que este estabelece com o contexto, é necessário descrever a interação que é estabelecida entre os jogadores e o ambiente e compreender como é que, dessa interação, pode emergir o comportamento (perspetiva não-linear do Quadrante Complexo-Externo). Podemos, então, dizer que a combinação da informação proveniente da análise de cada uma das perspetivas permite trazer um conhecimento mais aprofundado sobre o jogo e sobre o desempenho, e permite a explicação da sua dinâmica.

A complementaridade apresentada no modelo eco-físico pode ser utilizada como estratégia de investigação. Considere-se, por exemplo, um estudo em que o objectivo é saber como surgem as situações de rutura durante uma jogada de fundo do campo no ténis. Numa primeira fase, pode começar-se por identificar e caracterizar essas situações de rutura em relação ao tipo de ações que envolvem, a sua frequência de ocorrência ou a posição dos jogadores no campo. Neste caso, a análise do desempenho será feita dentro do quadrante simples-externo. Em seguida, pode interessar conhecer a sequência temporal das ações e verificar se existem padrões de sequências associados a diferentes tipos de rutura, sendo que para este efeito a perspetiva sequencial será a mais apropriada. Por último, para saber como é que essas situações de rutura emergem da interação que se estabelece entre os jogadores (quadrante complexo-externo) ou do efeito de constrangimentos internos (e.g., fisiológicos ou técnicos – quadrante complexo-interno), o jogo deverá ser analisado com base nos pressupostos da perspetiva não-linear do comportamento.

O modelo eco-físico é um contributo para uma visão unificadora do estudo do jogo e da performance. Naturalmente que há muito para evoluir nos passos seguintes desta linha de trabalho. Todavia, pensamos que é importante que a análise do desempenho se desloque de uma generalizada preocupação metodológica para uma preocupação teórica explicativa do comportamento individual e coletivo. A medição do comportamento deve ser guiada teoricamente, de modo a que haja a possibilidade de

falsificar a explicação testada (Popper, 1963), evitando-se cair no dogmatismo de se ter como verdadeiros e não testáveis determinados pressupostos e assunções sobre o desempenho desportivo. Por conseguinte, somos da opinião que a explicação e a previsão do comportamento individual e coletivo não são questões metodológicas (ou de análise), são questões teóricas (ou de formulação e verificação das leis que explicam o fenómeno). O modelo eco-físico combina ecologia e física para iniciar a discussão de como unificar abordagens aparentemente dispersas. Pensamos que o nível de complexidade e de “exterioridade” do comportamento desportivo, individual e coletivo pode ser um ponto de partida para uma teoria do desempenho desportivo.

2.5. Referências

- Alcock, A. & Cable, N. T. (2009). A comparison of singles and doubles badminton: Heart rate response, player profiles and game characteristics. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 228-237.
- Ali, A. & Farrally, M. (1991). Recording soccer players' heart rates during matches. *Journal of Sports Sciences*, 9, 183-189.
- Alvaro, J., Dorado, A., Gonzales Badillo, J. J., Navarro, F., Molina, J. J., Portoles, J., & Sanchez, F. (1995). Modelo de análisis de los deportes colectivos basado en el rendimiento en competición. *INFOCOES*, 1(0), 21-40.
- Anderson, D. I. & Sidaway, B. (1994). Coordination changes associated with practice of a soccer kick. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65, 93-99.
- Anguera, M. T. & Jonsson, G. K. (2003). Detection of real time patterns in sport: Interactions in football. *International Journal of Computer Science in Sport (e-Journal)*, 2(2), 118-121.
- Araújo, D. (2006). *Tomada de decisão no desporto*. Cruz-Quebrada: Edições FMH.
- Araújo, D. (2009). Ecological approaches to cognition and action in sport. *International Journal of Sport Psychology*, 40 (special issue).
- Araújo, D. (2010). A dinâmica ecológica das decisões colectivas. In P. Passos, *Rugby* (pp. 39-46). Cruz-Quebrada: Edições FMH.
- Araújo, D. & Carvalho, J. (2007). A tomada de decisão no ténis. In P. Pizarat & C. Coutinho (Ed.), *Investigação e ténis* (pp. 85-102). Cruz-Quebrada: FMH Edições.

- Araújo, D. & Carvalho, J. (2009). A tomada de decisão também se treina: uma aplicação no ténis. In M. Regina Brandão & A. António Machado (Eds.), *O treinador e a psicologia do esporte* (pp. 115-140). São Paulo: Editora Atheneu.
- Araújo, D. & Davids, K. (2009). Ecological approaches to cognition and action in sport and exercise: Ask not only what you do, but where you do it. *International Journal of Sport Psychology*, 40, 5-37.
- Araújo, D., Davids, K., Sainhas, J., & Fernandes, O. (2002). Emergent decision-making in sport: a constraints-led approach. In L. Toussaint & P. Boulinguez (Ed.), *International Congress "Movement, Attention & Perception"* (pp. 77). Poitiers, France: Université de Poitiers.
- Araújo, D., Davids, K., Bennett, S., Button, C., & Chapman, G. (2004). Emergence of sport skills under constraints. In A. M. Williams & N. J. Hodges (Ed.), *Skill acquisition in sport: Research, theory and practice* (pp. 409-433). London: Routledge, Taylor & Francis.
- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision-making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7 (6), 653-676.
- Ardá, A. (1998). *Análisis de los patrones de juego en fútbol 7. Estudio de las acciones ofensivas. Tesis Doctoral*. Universidade da Coruña.
- Bahamonde, R. (2000). Chances in angular momentum during the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 18, 579-592.
- Bangsbo, J., Norregaard, J., & Thorsoe, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sports Sciences*, 16(2), 110-6.
- Barrantine, S., Matsuo, T., Escamilla, R., Fleisig, G., & Andrews, J. (1998). Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 24-39.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). Ecology: From individuals to ecosystems. (4th ed.). Oxford: Blackwell.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2004). The 'Bloomfield Movement Classification': Motion analysis of individual players in dynamic movement sports. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 4(2), 20-31.

- Borrie, A., Jonsson, G., & Magnusson, M. (2002). Temporal pattern analysis and its applicability in sport: an explanation and exemplar data. *Journal of Sports Sciences*, 20, 845-852.
- Bourbousson, J., Sève, C., & McGarry, T. (2010a). Space-time coordination dynamics in basketball: Part 1. Intra- and intercouplings among player dyads. *Journal of Sports Sciences*, 1-9, iFirst article.
- Bourbousson, J., Sève, C., & McGarry, T. (2010b). Space-time coordination dynamics in basketball: Part 2. The interaction between the two teams. *Journal of Sports Sciences*, 1-10, iFirst article.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer: Contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Medicine*, 38(10), 839-862.
- Cordovil, R., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Barreiros, J., Fernandes, O., & Serpa, S. (2009). The influence of instructions and bodyscaling as constraints on decision-making processes in team sports. *European Journal of Sport Science*, 9(3), 169-179.
- Csataljay, G., O'Donoghue, P., Hughes, M., & Dance, H. (2009). Performance indicators that distinguishes winning and losing teams in basketball. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 60-66.
- Davids, K., Button, C., & Bennett, S. (2008). *Dynamics of skill acquisition. A constraints-led approach*. Champaign: Human Kinetics.
- Duarte, R., Araújo, D., Gazimba, V., Fernandes, O., Folgado, H., Marmeleira, J., & Davids, K. (2010). The ecological dynamics of 1v1 sub-phases in association football. *The Open Sports Sciences*, 3, 16-18.
- Dufour, W. & Verlinder, M. (1994). Match analysis in Soccer: World championship USA/94. In *Third World Congress of Notational Analysis*. Cardiff.
- Elliott, B., Baxter, C., & Besier, T. (1999). Internal rotation of the upper-arm segment during a stretch-shorten cycle movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 15, 381-395.
- Elliott, B., Fleisig, G., Nocholls, R., & Escamilla, R. (2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(1), 76-87.

- Elliott, B., Marshall, R., & Noffal, G. (1995). Contributions of upper limb segment rotation during the power serve in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 433-442.
- Elliott, B. & Wood, G. (1983). The biomechanics of the foot-up and foot-back tennis serving techniques. *Australian Journal of Sport Science*, 3(2), 3-6.
- Ferreira, A. (2006). *Criticalidade e momentos críticos. Aplicações ao jogo de Basquetebol*. Tese de Doutoramento não publicada, FMH – UTL, Lisboa.
- Frencken, W. G. & Lemmink, P. M. (2008). Team kinematics of small-sided soccer games: A systematic approach. In T. Reilly & F. Korkusuz (Eds.), *Science and football VI: Proceedings of the Sixth World Congress on Science and Football* (pp. 161-166). London: Routledge.
- Garay Plaza, J., Hernández Mendo, A., & Morale Sánchez, V. (2006). Sistema de codificación y análisis de la calidad del dato en el tenis de dobles. *Revista de Psicología del Deporte*, 15(2), 279-294.
- Garcia-Manso, J., Martin-González, J., da Silva-Grigoletto, M., Vaamonde, D., Benito, P., & Calderón, J. (2008). Male powerlifting performance described from the viewpoint of complex systems. *Journal of Theoretical Biology*, 251, 498-508.
- Garganta, J. (1997). *Modelação táctica do jogo de futebol. Estudo da organização da fase ofensiva em equipas de alto rendimento*. Tese de Doutoramento. FCDEF – Universidade do Porto.
- Garganta, J. (2001). A análise da performance nos jogos desportivos. Revisão acerca da análise do jogo. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 1(1), 57-64.
- Gorospe, G. (1998). *Observación y análisis de la acción de juego en el tenis de individuales. Aportaciones del análisis secuencial de las coordenadas polares*. Tese de Doutoramento. Universidade del País Vasco.
- Gorospe, G. (2000). Tesis Doctoral: Observación y análisis de la acción de juego en el tenis de individuales. Aportaciones del análisis secuencial de las coordenadas polares. *Lecturas: EF y Deportes.com, Revista Digital*, 5(21), <http://www.efdeportes.com/efd21a/tenis1.htm>.
- Gorospe, G. & Anguera, T. (2000). Modificación de la técnica clásica de coordenadas polares mediante un desarrollo distinto de la retrospectividad: aplicación al tenis. *Psicothema*, 12(2), 279-282.

- Gorospe, G., Hernández Mendo, A., Anguera, T., & Santos, R. (2005). Desarrollo y optimización de una herramienta observacional en el tenis de individuales. *Psicothema*, 17(1), 123-127.
- Gréhaigne, J. (2001). *La organización del juego en el fútbol*. Barcelona: INDE Publicaciones.
- Gréhaigne, J. F., Bouthier, D., & David, B. (1997). Dynamic-system analysis of opponent relationships in collective actions in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 15(2), 137-149.
- Gréhaigne, J. F. & Godbout, P. (1995). Tactical knowledge in team sports from a Constructivist and Cognitivist perspective. *Quest*, 47(4), 490-505.
- Haken, H., Kelso, J. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51(5), 347-356.
- Handford, C., Davids, K., Bennett, S., & Button, C. (1997). Skill acquisition in sport: Some applications of an evolving practice ecology. *Journal of Sports Sciences*, 15, 621-640.
- Hernandez Mendo, A. (1996). *Observación y análisis de patrones de juego en deportes sociomotores*. Tesis Doctoral. Universidade de S. Tiago de Compostela.
- Hiroyuki, N., Ikegami, Y., Kozakai, R., Aprianono, T., & Sano, S. (2006). Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 24(5), 529-541.
- Hughes, M. & Bartlett, R. (2008). What is performance analysis? In M. Hughes & I. Franks (Eds), *The essentials of performance analysis: an introduction* (pp. 8-20). London: Routledge.
- Hughes, M. & Franks, I. (2004). How to develop a notation system. In M. Hughes & I. Franks (Eds), *Notational analysis of sport* (2nd ed.) (pp. 118-140). London: Routledge.
- Kelso, J. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behaviour*. Cambridge: MIT Press.
- Kelso, J. & Engström, D. (2006). *The complementary nature*. Cambridge: The MIT Press.
- Kelso, J. S. & Schoner, G. (1988). Self-organization of coordinative movement patterns. *Human Movement Science*, 7, 27-46.

- Kugler, P. N. & Turvey, M. T. (1987). *Information, natural law, and the self-assembly of rhythmic movement*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Johnson, C. & McHugh, M. (2006). Performance demands of professional male tennis players. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 696-699.
- Jones, M. (2009). Scoring first and home advantage in the NHL. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 320-331.
- Júlio, L. & Araújo, D. (2005). Abordagem dinâmica da acção táctica no jogo de futebol. In D. Araújo (Ed.), *O contexto da decisão: a acção táctica no desporto* (pp. 159-178). Lisboa: Edições Visão e Contextos.
- Lago-Peñas, C. & Anguera, M. T. (2002). Use of the polar coordinates technique to study interactions among professional soccer players. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 2(4), 21-40.
- Lago-Peñas, C., Rey, E., Lago-Ballesteros, J., Casais, L., & Dominguez, E. (2009). Analysis of work-rate in soccer according to playing positions. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 218-227.
- Lames, M. (2006). Modelling the interactions in game sports – Relative phase and moving correlations. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 556-560.
- Lee, D. N. (1998). Guiding movement by coupling taus. *Ecological Psychology*, 10, 221-250.
- Lucas, C. (1999). Quantifying complexity theory. *The Complexity & Artificial Life Research Concept for Self-Organizing Systems*.
<http://www.calresco.org/lucas/quantify.htm>
- Luhtanen, P., Belinskij, A., Häyrynen, M. & Vanttinen, T. (2001). A comparative tournament analysis between the EURO 1996 and 2000 in soccer. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 1(1), 74-82.
- Magnus, J. & Klaassen, F. (1999a). The final set in a tennis match: Four years at Wimbledon. *Journal of Applied Statistics*, 26, 461-468.
- Magnus, J. & Klaassen, F. (1999b). On the advantage of serving first in a tennis set: Four years at Wimbledon. *The Statistician*, 48, 247-256.
- Markou, S. & Vagenas, G. (2006). Multivariate isokinetic asymmetry of the knee and shoulder in elite volleyball players. *European Journal of Sport Science*, 6(1), 71-80.

- Martín-Acero, R. & Lago-Peñas, C. (2005). *Deportes de equipo: Comprender la complejidad para elevar el rendimiento*. Barcelona: INDE Publicaciones.
- McGarry, T. (2009). Applied and theoretical perspectives of performance analysis in sport: Scientific issues and challenges. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 128-140.
- McGarry, T. (2006). Identifying patterns in squash contests using dynamical analysis and human perception. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6, 134-147.
- McGarry, T., Anderson, D. I., Wallace, S., Hughes, M., & Franks, I. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of Sports Sciences*, 20 (10), 771-781.
- McGarry, T., Khan, M., & Franks, I. (1999). On the presence and absence of behavioural traits in sport: An example from championship squash match-play. *Journal of Sports Sciences*, 17, 297-311.
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-28.
- Moriss, C. J. (1998). Coordination patterns in the performances of an elite javelin thrower. *Journal of Sports Sciences*, 16, 12-13.
- Mortágua, L. (1999). *Modelação de jogo ofensivo em andebol. Estudo da organização da fase ofensiva em equipas seniores masculinas de alto rendimento portuguesas*. Tese de Mestrado não publicada, FCDEF – UP, Porto.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M. Wade & H. T. A. Whiting (Ed.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 341-360). Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff.
- O'Donoghue, P. (2002). Performance models of ladies' and men's singles tennis at the Australian Open. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2(1), 73-84.
- O'Donoghue, P. (2008). Time-motion analysis. In M. Hughes & I. Franks (Eds), *The essentials of performance analysis: an introduction* (pp. 180-201). London: Routledge.

- O'Donoghue, P. (2009). Interacting performances theory. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 26-46.
- O'Donoghue, P. & Ingram, B. (2001) A notational analysis of elite tennis strategy. *Journal of Sports Sciences*, 19, 107-115.
- O'Donoghue, P. G. & Liddle, S. D. (1998) A notational analysis of time factors of elite men's and ladies' singles tennis on clay and grass surfaces. In A. Lees, I. Maynard, M. Hughes & T. Reilly (Eds.) *Science and racket sports II*. London: E&FN Spon (pp. 241-246).
- Odum, E. (2001). *Fundamentos de ecologia* (Trans. 6th ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. (Originally published 1971, 3rd ed.)
- Oliveira da Silva, A. (2005). *Os momentos críticos nos jogos de andebol. Um estudo nos jogos do VI Campeonato da Europa de Andebol de Seniores Masculinos – 2004*. Tese de Mestrado não publicada, FCDEF – UP, Porto.
- Oullier, O., & Kelso, J.A.S. (2009). Social coordination from the perspective of coordination dynamics. In R. Meyers (Ed.) *Encyclopedia of complexity and systems science* (pp. 8198-8212). Berlin: Springer-Verlag
- Palao, J., Manzanares, P., & Ortega, E. (2009). Techniques used and efficacy of volleyball skills in relation to gender. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 9, 281-293.
- Palut, Y. & Zanone, P. G. (2005). A dynamical analysis of tennis: Concepts and data. *Journal of Sports Sciences*, 23(10), 1021-1032.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L. F., Milho, J., & Serpa, S. (2008). Information-governing dynamics of attacker-defender interactions in youth rugby union. *Journal of Sport Sciences*, 26(13), 1421-1429.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., & Serpa, S. (2006). Interpersonal dynamics in sport: The role of artificial neural networks and three-dimensional analysis. *Behavior and Research Methods*, 38(4), 683-691.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Serpa, S., Milho, J., & Fonseca, S. (2009). Interpersonal pattern dynamics and adaptive behavior in multiagent neurobiological systems: Conceptual model and data. *Journal of Motor Behavior*, 41, 445-459.

- Pidwirny, M. (2006). Definitions of systems and models. *Fundamentals of physical geography*, 2nd Edition. Date Viewed: 15/04/2010. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/4b.html>
- Popper, K. (1963). *Conjectures and refutations*. London: Routledge.
- Prudente, J. (2004). *Análise da performance táctico-técnica no andebol de alto nível: Estudo das acções ofensivas com recurso à análise sequencial*. Dissertação de Doutoramento. Universidade da Madeira.
- Reep, C. & Benjamin, B. (1968). Skill and chance in association football. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1(131), 581-585.
- Reilly, T. & Thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies*, 2, 87-97.
- Ribeiro, C. (2004). *Os momentos críticos nos jogos de basquetebol. Análise dos coeficientes de eficácia e acontecimentos precedentes*. Tese de Mestrado não publicada. Vila Real: UTAD.
- Ribeiro, C. & Sampaio, A. (2001). Análise dos últimos 5 minutos dos jogos equilibrados de basquetebol. In S. Ibañez & M. Garcia, (Eds.), *Libro de Resúmenes del I Congreso Ibérico de Baloncesto* (68). Cáceres.
- Ribeiro, C. & Sampaio, A. (2003). Abordagem preliminar à identificação e caracterização dos momentos críticos nos jogos de basquetebol. In S. Ibañez & M. Garcia (Ed.), *Libro de Resúmenes del II Congreso Ibérico de Baloncesto* (pp. 62). Cáceres.
- Sampaio, J., Ferreira, A., Ibañez, S., & Ribeiro, C. (2004). Success in the last 5 minutes of basketball close games: Investigating final outcome of ball possession, duration of ball possession, number of players' involves, defensive opposition and court location. In *Book of Abstracts of the World Congress of Performance Analysis of Sport* (13). Belfast.
- Sampaio, J., Lorenzo, A., & Ribeiro, C. (2004). Momentos críticos en los partidos de Baloncesto: Metodología para a identificación y análisis de los acontecimientos precedentes. *Ciencia, Cultura y Deporte*, 3(5), 83-88.

- Sampaio, J., & Janeira, M. (2003). Statistical analyses of basketball team performance: Understanding teams' wins and losses according to a different index of ball possessions. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 3(1), 40-49.
- Schmidt, R., O'Brien, B., & Sysko, R. (1999). Self-organization of between-person cooperative tasks and possible applications to sport. *International Journal of Sport Psychology*, 30(4), 558-579.
- Schwieger, K. & Baca, A. (2002). Quantifying the jump height in vertical jumping with two different evaluation concepts. *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 2(1), 44-54.
- Sousa, R. (2000). *Modelação do processo defensivo em andebol. Estudo em equipas de alto rendimento seniores masculinos*. Tese de Mestrado não publicada, FCDEF – UP, Porto.
- Temprado, J.J., Della-Graza, M., Farrell, M., & Laurent, M. (1997). A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Human Movement Science*, 16, 653-676.
- Turvey, M. T. & Shaw, R. E. (1995). Toward an ecological physics and a physical psychology. In R. L. Solso & D. W. Massaro (Eds.), *The science of the mind: 2001 and beyond* (pp. 144-169). New York: Oxford University Press.
- Van Gool, D., Van Gerven, D., & Boutmans, J. (1983). Heart rate recorded during a soccer game: A new methodology. *Journal of Sport Science*, 1, 154-159.
- Volossovich, A. (2008). *Análise dinâmica do jogo de andebol: Estudo dos factores que influenciam a probabilidade de marcar golo*. Tese de Doutoramento não publicada. Lisboa: FMH – UTL.
- Vuleta, D., Milanovic, D., Grunic, I., & Ohnjec, K. (2007). Influence of the goals scored in the different time periods of the game on the final outcome of matches of the 2003 Men's World Handball Championships, Portugal. *EHF Periodical*. http://home.eurohandball.com/ehf_files/Publikation/WP%20Vuleta-Influence%20of%20the%20goals%20scored%20on%20final%20outcomes.pdf.
- Warren, W. H. (2006). The dynamics of perception and action. *Psychological review*, 113(2), 358-389.

Capítulo 3

Interpersonal dynamics on baseline rallies in tennis¹¹

¹¹ Carvalho, J., Araújo, D., Travassos, B., Fernandes, O., Pereira, F., & Davids, K. (submitted). Interpersonal Dynamics on baseline rallies in tennis. (*International Journal of Sports Science and Coaching*).

3. Interpersonal dynamics on baseline rallies in tennis

3.1. Abstract

In tennis, the relative positioning of players on court constrains their possibilities to perform successful actions. In this study we proposed and validated an empirical function that captures the spatial-temporal relationship between tennis players during competitive performance. This parameter, termed *goal-directed displacement index* (GDD Index), is defined over time by the product of the numeric value of both players' distances to the court midline and to the centre of the net. Results showed that the GDD index successfully described tennis players' patterns of interaction, as well as identified transitions in patterns of play during competitive performance, due to changes in relative positioning on court. Our analysis revealed two different patterns of interpersonal interactions, *cross* and *down the line* rallies, and two variables for phase transitions, *parallel variation* and *angle opening*. The elaboration of individual profiles of play, using the GDD index, could improve performance analysis in tennis.

Keywords: Interpersonal coordination; Player displacement trajectories; Performance analysis; Tactics.

3.2. Introduction

Performance analysis in tennis, using the notational approach, has focused on characterizing the most widely used and most effective actions or the most prevalent errors during competitive performance [1, 2]. These data define profiles of players' actions during competitive performance but do not provide a theoretical rationale for understanding why different actions might emerge at any instant during competitive performance.

In tennis, as in other racquet sports, studies have attempted to understand the dynamical interactions between players during performance [3-6]. Results have shown that, through oscillating movements of players, the inter dependence of actions in space and time have been revealed during rallies [7]. To exemplify, in a cross-court backhand rally, the player about to strike the ball moves towards his/her left-hand side, and the opponent moves towards the right-hand side to defend the court position. These coupling tendencies have been viewed as an emergent self-organised process under the ecological constraints of performance, since the players' goals are mutually exclusive, and they become linked by the information that is available in the competitive environment [7-9].

In two opposing players, the coordination tendencies that emerge oscillate constantly between periods of stability and instability. From a natural law approach [e.g., 10], instability is often associated with perturbations in the performer-environment system, which can shift the system towards a new state of organisation. If the balance between players' positions on court is not maintained over time, (i.e., players' spatial-temporal symmetry), it may result in the conclusion of the point in racket sports [7]. Some analyses of phase transitions in tennis have measured how a pattern of coordination emerges between the players in relation to a spatial reference point on court (e.g., the central mark on the baseline) [3, 6]. This relationship between players and key spatial reference points on court represents their ability to manage the space of the playing area. The level of coupling between the two players has been captured through measuring their relative phase [see, 11], an informational variable that can quantify the spatial-temporal relations of the lateral displacement on court between two competing players. For instance, Palut and Zanone [3] revealed the existence of only two stable modes of synchronization (interaction), corresponding to

players moving in the same direction (in-phase) or in opposite directions (anti-phase) during rallies in competitive tennis. During rallies, these stable coordination tendencies (system order) may be interrupted for periods of instability, in which system symmetry is lost (system disorder), and from which new states of stability or order (transitions) arise or the point is won by one player.

The observations reported by Palut and Zanone [3] have provided a better understanding of the relations established between tennis players during competitive performance. However, McGarry [12] has argued that for a functional understanding of competitive performance, the variables measured should combine information about the location on court where actions have emerged, as well as the nature of actions themselves. For instance, in the study of Palut and Zanone [3] the calculation of the relative phase variable took into account the oscillatory movement of participant lateral displacements in relation to the court centre. This methodology renders the analysis blind towards the spatial location of the players on the court, identifying differentiated functional relations (down the line or cross court rallies) by the same mode of synchronization. For instance, an in-phase mode of coordination can describe: i) the approach of both players to the court centre, or ii), the distancing of both players in relation to the court centre in opposite directions. That approach renders the tactical interpretation of the players' actions in relation to their position on the court difficult and makes it hard to understand the pattern forming dynamics which emerge during rallies.

Another limitation of the studies by Palut and Zanone [3] and Lames [6] is that they overlooked analysis of the movements of players towards or away from the net (longitudinal displacement trajectories). Although in a baseline rally the players' lateral movements (parallel to the baseline) may reach higher values in terms of magnitude of variation, the longitudinal movements of entering and exiting the court (perpendicular to the baseline) are crucial to the game and cannot be underestimated for understanding pattern forming dynamics of competitive performance. It is contended that only the combined effect of both performers can explain the dynamics established between players during competitive performance in tennis.

In sum, in order to understand the dynamics of competitive performance, research is needed that considers how the relative positioning of the players varies in

relation to the court midline (lateral displacement) and the centre of the net (longitudinal displacement).

The objective of this study was to theoretically and empirically validate a spatial-temporal variable that captures and quantifies moments of stability, instabilities and transitions in patterns of play in competitive tennis. Advancing previous research on tennis, data on lateral and longitudinal displacements of competing players on a tennis court were combined in a single measure to describe the interpersonal coordination tendencies established during rallies at the moment when a ball is hit by each performer. Two variables have been implicated in dyadic system transitions by the experiential knowledge of expert tennis coaches [see 13]: i) *opening angle* (i.e., one of the players displaces the other laterally based on the position relative to the centre of the net); and ii), *parallel variation* (i.e., the players are playing in a cross court pattern and one of them hits the ball parallel to the sideline). Through analysis of these variables, we aimed to test the proposed spatial-temporal measure to identify performance situations when a transition might emerge in competing dyadic systems in tennis (i.e., a rupture of the coordination tendencies of the dyad) that lead to the winning of a point. Our intention was to objectively evaluate the spatial-temporal conditions that constrain the players' behaviours during competitive performance. This information could help coaches to design more appropriate training tasks and shape players' performance.

3.3. Methods

To achieve our objective, we randomly selected for analysis three matches on the central court of the 2008 ATP Tour 250 in the Estoril Open in Portugal, a tournament played on clay. The process of data collection and treatment was carried out according to the ethical procedures of the Faculty of Human Kinetics, Technical University of Lisbon, in accordance with the proposals of the American Psychological Association.

The movement displacements of the performers and the ball during the three matches were captured with a digital video camera (Panasonic mini DV - NVG21E), placed at one end of the tennis court to cover the whole playing area. From the matches, 28 rallies were selected for further analysis according to criteria based on

visual inspection (match1=8; match2=9; match3=11; see Data Analysis section below). The selected rallies were digitized using the TACTO 7.0 software [see, 14, 15] in order to obtain the virtual coordinates (x, y) of the positions of the players on court over time. The procedure consisted of following frame-by-frame with a computer mouse the projection on the floor of the midpoint of the two feet of each player, during the course of each rally. In each rally, we also recorded the moment when the ball was struck or when it bounced on the court surface. The virtual coordinates (in pixels) of the position of the players on court during each rally were converted into real coordinates using the direct method of linear transformation (2D-DLT) [16], and the data were smoothed with the aid of a 6 Hz filter (a low pass filter), using the Matlab R2008a software [14].

3.3.1. Data Analysis

The 28 rally sequences were chosen according to two basic criteria: (i) the ball had to be played from behind the baseline; and (ii), there had to be at least one phase transition in the dyadic system coordination tendencies that existed between the players. Concerning the first criterion, after a service had been returned, there should be at least one stroke in which the two players were positioned behind the baseline, close to the central zone (neutral zone), with the return stroke made in a controlled way. Two expert tennis coaches performed this selection procedure with a percentage agreement of 98 % and 100 % intra-observer and of 96.2 % inter-observer [17]. Concerning the identification of dyadic system transitions in the rallies, the strokes deemed responsible for the de-stabilising effect on coordination tendencies were identified by two expert tennis coaches. These expert judgements were made according to a set of criteria related to the way in which the strokes and the movement displacements were made (including balance in the stroke, the position of the contact zone of the racquet with the ball in relation to the body, the position of the players on the court, the impact of the ball resulting from that stroke in the displacement and in the stroke made by the other player; see Table 3.1).

Based on the criteria for visual observation, the expert coaches made a judgment about which shot in the sequence produced the rally rupture. Their identification of this information led to 100% agreement in the 28 rallies analyzed.

Table 3. 1. *Criteria used to identify the strokes that originated ruptures in the rallies.*

Events	Aspects observed	Balance	Unbalance
Stroke	<ul style="list-style-type: none"> • Shoulders position. • Head position. • Relative position of the geometrical centre to the support base. • Position of the point of impact of the racquet with the ball. 	<ul style="list-style-type: none"> • Parallel to the end line. • Vertical. • Geometrical centre inside of the support base. • Between shoulders and waist; Semi-flexion of the arm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Non-parallel to the end line. • Non-vertical. • Geometrical centre outside of the support base; in displacement • Above shoulders or below the knee; Arm extension.
Position of the players on the court	<ul style="list-style-type: none"> • Relative position of the players. • Players' position at the instant of the strike. 	<ul style="list-style-type: none"> • Both players' positioned in a central zone of the court; \pm at the same distance of the lateral line and the net. • Player who hits the ball was further from the midline or the baseline than the other. 	<ul style="list-style-type: none"> • One of the players positioned closer to the net or the centre of the court than the other. • Player who hits the ball was closer to midline or the baseline than the other.
Displacement	<ul style="list-style-type: none"> • Displacements for hitting the ball or to recover position. 	<ul style="list-style-type: none"> • In the time defined by ball trajectory. 	<ul style="list-style-type: none"> • Out of time given by ball trajectory (late).
Outcome of the action	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation of ball trajectory. • Impact on the displacement and action capabilities of the other player. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deep ball with high velocity and/or precision. • Moves the opponent and increases the difficulty to hit the ball. 	<ul style="list-style-type: none"> • Short ball, slow and close to opponent position. • Doesn't move the opponent and allow a counter-attack.

From the time series data produced by the digitization procedures, we determined each player's distance from the midline of the court (dml) and the distance from the centre of the net (dn). These measures were calculated in accordance with the system of coordinates (x,y) in which the lateral displacements on the court corresponded to the x-axis, and the movements of approach and distancing in relation to the centre of the net to the y-axis. In order to identify the closest side of the court to each player at

each instant, the middle line of court was assigned zero coordinates by convention. The left side of the court was defined as the negative side, while the right side was assigned positive values. The *goal-directed displacement index* (GDD Index) was calculated through the multiplication of the player's distance from the midline of the court (dml) and the player's distance from the centre of the net (dn), expressed by eqn ($GDD\ index = dml * dn$) (see Figure 3.1).

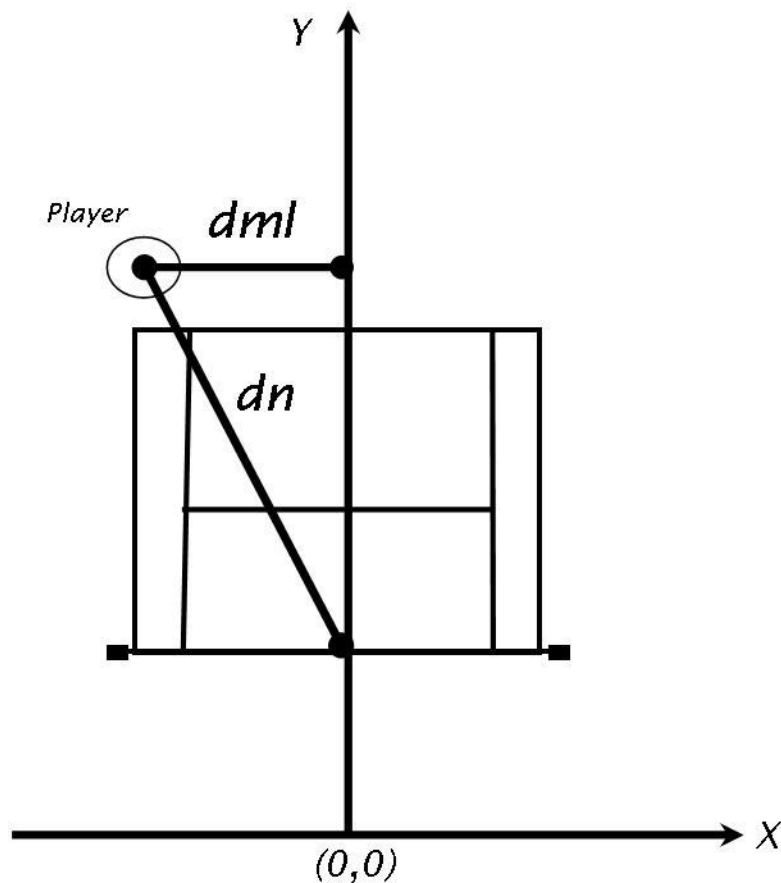


Figure 3.1. Schematic representation of the GDD Index proposed, which corresponds to the product between the distances of the player to the midline of the court (dml) and to the centre of the net (dn).

In fact the distance to the center of the net also contains information about the lateral displacement of the player in relation to the midline. Nevertheless, due to game task constraints (e. g., field dimensions and format, the ball may bounce once on the ground, etc.), the combination between both variables (dml and dn) allowed us to assign a weight to the players' positions as a way to amplify the effect of lateral displacements over longitudinal displacements. To map the position of the players on court, the GDD index was computed, displaying positive values to the left of the lateral

midline and negative values to the right (see Figure 3.2). As can be seen in Figure 3.2, each curve refers to one player and corresponds to the values that the GDD index adopted throughout the rally. The thick vertical lines represent the moments of the strokes of each player and the dotted lines the bounces of the ball on the surface. The values of the GDD index represented in $x=0$ refer to the position of the players during the service and the return, where the player who serves the ball is closer to the court centre (GDD Index=0), and the service-receiving player is farther away. The bold vertical line refers to the rally stroke in which a system transition that led to the winning of the point was visually identified. We aimed to verify whether the proposed variable would identify the patterns of coordination coincident with system transitions identified through visual observation.

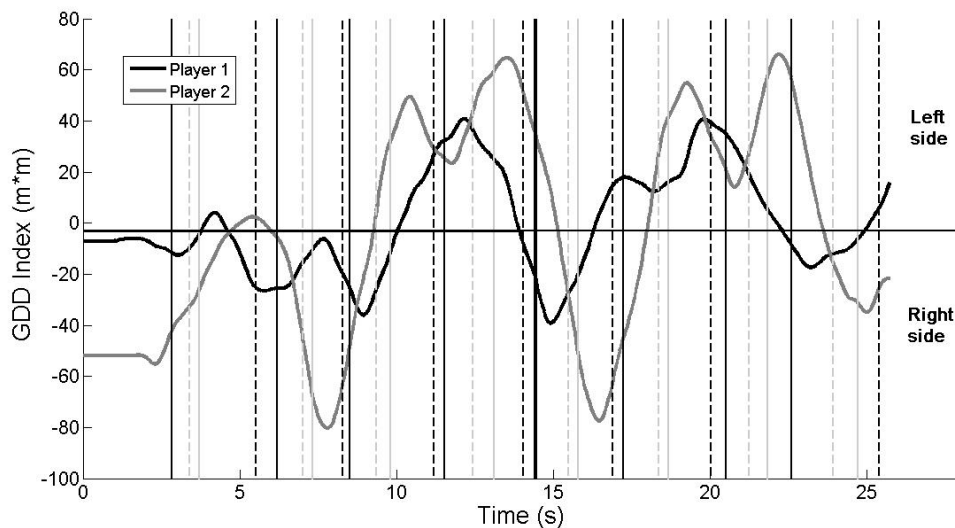


Figure 3.2. Exemplar data of GDD index representing the position of the players during a rally. The vertical lines represent the instants of the strokes (thick line) and of the bounces of the ball (dotted). If the players' lines are on the same side, both players are positioned on the same side of the court playing a cross-court rally. If the lines are on different sides the players are positioned facing each other (i.e., one on the right-hand side of the court and the other on the left-hand side).

In order to test statistically the robustness of GDD Index to discriminate key moments of play and to identify different patterns of play, the value of GDD Index of the player who is disrupted was considered at three distinct moments of play that can characterize dyadic system transitions: i) break shot – when the shot responsible for the transition was made; ii) return – when the opposing player responded to an

attempted break shot; iii) maximum displacement – the instant immediately after the return shot in which the GDD Index was maximum for a player. Data were subjected to a 3x2 mixed model ANOVA with a within-participant factor at the selected moments of play (break shot, return, maximum displacement), and patterns of play (angle opening and parallel variation) was the between-participant factor. Statistically significant ANOVA results were followed up with Bonferroni post hoc analyses. The level of statistical significance was set at $p < .05$. All statistical analysis were computed using SPSS® 18.0 software (SPSS Inc., Chicago, USA).

3.3.2. Reliability

In a rally chosen at random from the 28 rallies that were analysed, the digitization process was repeated and the accuracy and the reliability of the data were evaluated through the technical error of measurement (TEM) and coefficient of reliability (R) [18]. The TEM revealed values in the component x of 0.02 metres (0.16%) and 0.06 metres (0.47%), and in component y of 0.01 metres (0.15%) and 0.12 metres (0.33%), in the positions of player 1 and player 2, respectively. The coefficients of reliability found in both components of both players were above $R > .999$.

3.4. Results

3.4.1. Patterns of Interpersonal Dynamics

The visual inspection of the GDD index across time in the 28 rallies that formed the data sample allowed us to identify important aspects about the emergent dynamics of dyadic system interactions during competitive performance. Whenever the two curves are both above or below zero the players are playing in a cross court pattern (both players are on the same side of the court). If the values are negative for both players, there exists a right-hand side cross court pattern (if the players are right handed they are playing with a forehand stroke, Figure 3.3a). When both curves display positive values, there exists a left-hand side cross-court pattern (if the players are right handed they are supposedly playing with a backhand stroke, Figure 3.3b). Likewise, when the curve that represents one of the players displays positive values and the curve for the other player presents negative values, then they are positioned on opposite sides of the court, that is facing each other (long line rally, Figure 3.3c).

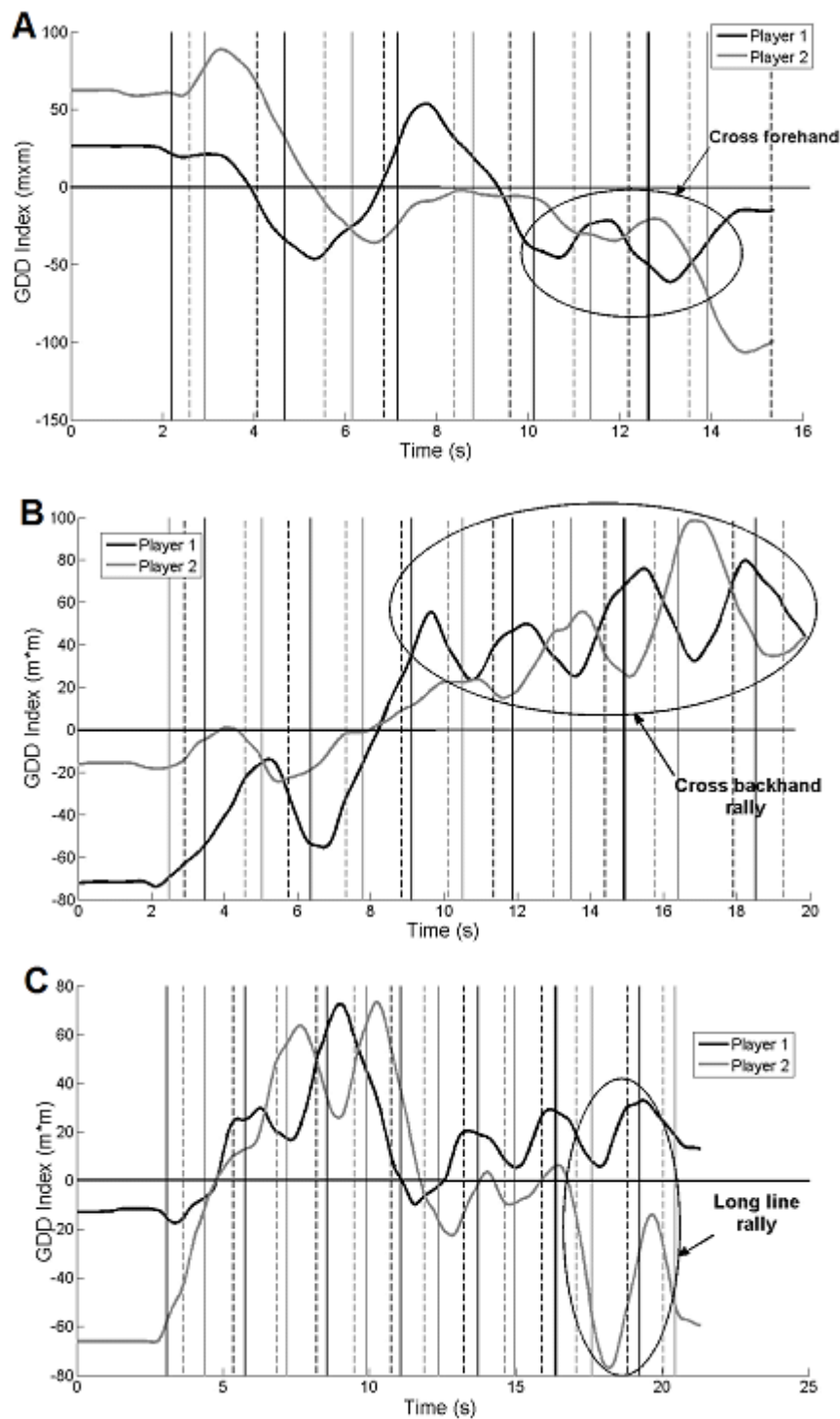


Figure 3.3. Exemplar patterns of interpersonal dynamics for different rallies. Inside of circle three patterns are identified: (A) cross-court forehand exchange; (B) cross-court backhand exchange and; (C) exchange with players facing each other.

3.4.2. Transition Situations

Through comparison of the behaviours observed on video and the values of the GDD index over time during performance we identified two patterns of coordination which allowed one of the players to gain an advantage over the other: *angle opening* (to the right-hand side or the left-hand side of the court) and *parallel variation*.

The *angle opening* pattern of coordination is characterised by an increase of the distance of one of the players to midline while the other maintains a stable position in relation to this line. With the increase of the distance of one of the players in relation to the midline above a critical limit, which can vary in each rally and between each individual, existing system order is changed and the player who is being displaced cannot regain a position to cover the space on court. In the example presented in Figure 3.4, from the third stroke of player 1, both players tried to displace the opponent laterally to the left. Player 1 in the fifth stroke, identified by the experts as the break shot, compelled player 2 to move out of the court laterally. At the moment of play defined as displacement, the player showed a GDD Index of 98.44 (corresponding to more than 1 m to the left-hand side of the doubles sideline), not allowing him to recover in time (an empty space was created on the right-hand side of the court).

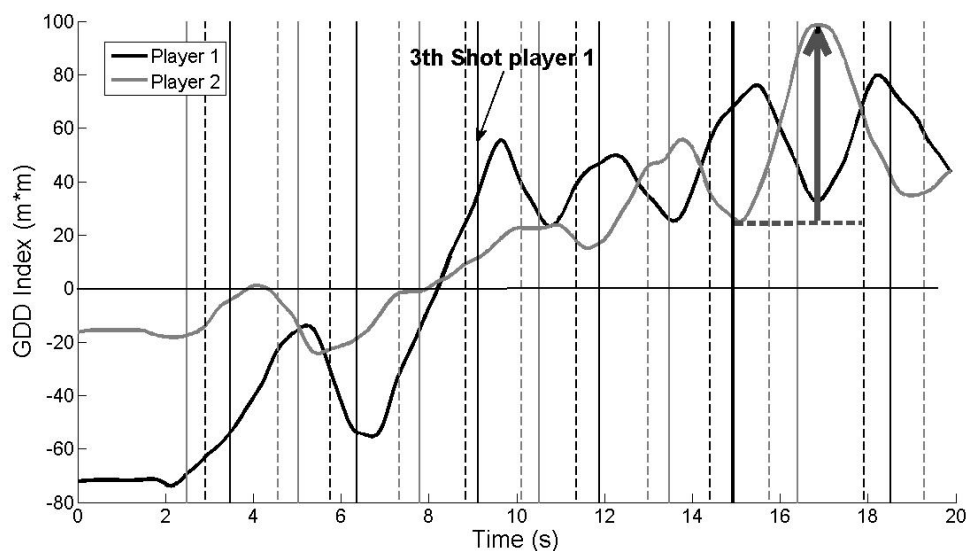


Figure 3.4. Example of a transition situation involving an angle opening during a cross court backhand rally. Player 1 in the fifth stroke compels player 2 to increase his index from GDD=20 to GDD=98 by moving laterally out of the court, opening a lot of space on the right-hand side of the court for a counter attack of player 1.

In the *parallel variation* measure, a change in system symmetry was achieved through the displacement caused by the shot down the line. As exemplified in Figure 3.5, from the third and fourth strokes of player 2 there were two unsuccessful attempts to induce instability in player 1 by using parallel variation shots. First player 1 was displaced from the left side of the court to the right side and then from the right side to the left side. After recovering his position, at the sixth stroke (identified as the break shot by experts) player 1 made a parallel variation that led to a dyadic system transition. The break shot forced player 2 to displace from the left to the right side of the field, with a GDD Index of + 27.1 that changed to a value of - 57.9 at the instant of return and a GDD Index=- 86.1 for displacement. Larger values of the GDD index at the moment of displacement indicated that this situation was advantageous for player 1 because it allowed exploiting the empty space on the left-hand side of the opponent's court to score the point. Moreover, the dyadic system rupture was confirmed by the lower distance value of player 1 to the centre of the court in relation to player 2 at the seventh shot (GDD Index_{J1}= -4.1 and GDD Index_{J2} = -39.4).

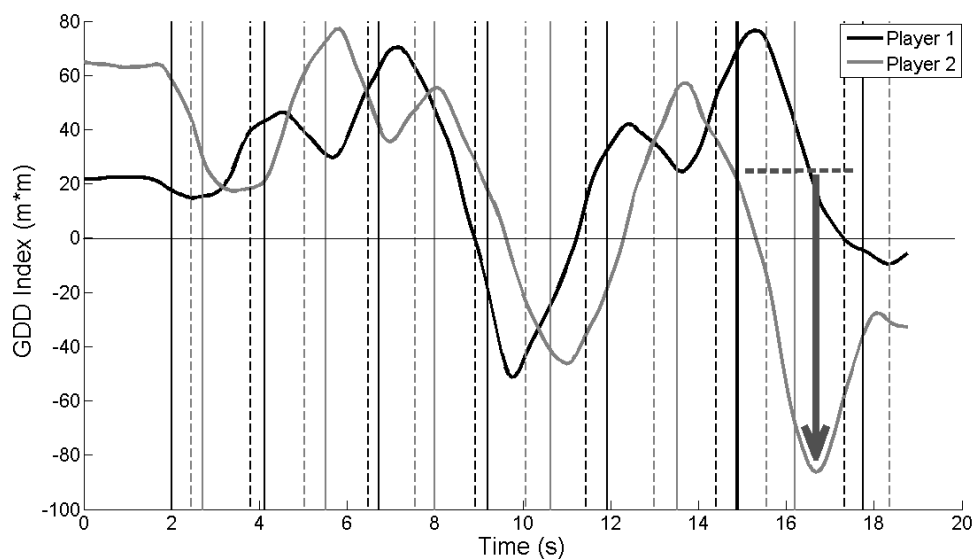


Figure 3.5. Example of a situation of rupture involving parallel variation. Player 1 in his sixth shot makes a parallel variation with a backhand down the line that compels player 2 to make a major move from the left-hand side of the court to the right-hand side. After this time, both players are playing facing each other and as player 1 strikes next shot he is closer to the centre of the court and/or of the baseline.

In Figure 3.5 it is shown that the index value of the player 2 continued to increase after his sixth stroke (shot return), which indicated that after that stroke, player 2 moved away laterally from the court midline. The identification of the sixth stroke of player 1 is a critical moment (i.e., break shot) in the dynamics of this rally, based on the analysis of the index proposed, because it coincides with the stroke that was considered by the experts as responsible for creating a system transition. This relation occurred in 26 of the 28 rallies that were analysed (93%), possibly due to the combined effect of different strokes or to the exceptional merit of a stroke, and was not as clear in the remaining rallies.

Statistical analysis confirmed the results of visual inspection. It was observed a main effect for moments of play, $F(2,50) = 91.64$, $p < .001$, $\eta^2 = .786$ and for patterns of play $F(1,25) = 17.44$, $p < .001$, $\eta^2 = .411$. A significant interaction was also observed between the moments of play and the patterns of play, $F(2,50) = 3.59$, $p = .035$, $\eta^2 = .125$. As expected, post hoc comparisons on moments of play revealed significant differences between the three moments of play ($p < .001$), with the break shot presenting low values ($M = 26.76$, $SD = 14.46$), followed by return ($M = 51.88$, $SD = 20.13$) and finally by maximal displacement ($M = 77.29$, $SD = 22.06$). The two moments of play return and displacement that expressed the effect of the attack on spatial-temporal balance between players presented larger GDD index values for angle opening than for parallel variation patterns of play. The moment of play break shot did not reveal significant differences between angle opening and parallel variation patterns of play (see Table 3.2).

Table 3. 2. Comparison between patterns of play for each moment of play.

		Patterns of play		
		Angle opening	Parallel variation	
Moments of play	Break shot	Mean	29.91	$p > .05$
		SD	14.03	
	Return	Mean	61.14	$p < .001$
		SD	18.23	
	Maximum displacement	Mean	88.21	$p < .001$
		SD	18.93	

3.5. Discussion

The objective of this study was to analyse the coordination tendencies that emerged between the players during a rally from behind the baseline during competitive tennis performance. For that purpose we developed the GDD index. This measure simultaneously considered the distancing of the players in relation to two on-court reference points during competitive performance: the midline of the court and the centre of the net. The graphical representation of this index enabled identification of different patterns of action and game transition situations that expressed the tactical intentions of the players. Statistical analysis revealed that GDD index's values discriminate the key moments of play and different patterns of play of the player who is disrupted. GDD index's values of the player that is being unbalanced significantly increased after the break shot indicating a dyadic system rupture. The significant differences found between the two patterns of play, *parallel variation* and *opening angle*, for return and maximum displacement moments, indicated that a player's advantage over the other emerged from different spatial-temporal relations.

3.5.1. Relative Position of the Players on the Court

In our results, analysis of movement displacements during the approach and away from the centre of the court expressed the different functional relations that can be established between competing players. It allowed us to identify two types of relational behaviours typical in tennis. These relations emerged when opponents are *facing each other* or playing *cross-court*, which are relevant to the interpretation of the relative phase values observed in previous studies of tennis (Lames, 2006; Palut & Zanone, 2005). Previous observations have identified the approach of both players to the midline of the court as being in-phase when they are moving in the same direction and anti-phase if they are moving in opposite directions (one moving from left to right and the other from right to left), regardless of their position in the playing area. However, these data could be enriched by our results on the functionality of such movement displacements for the maintenance or breaking of competitive relations between the two players. If the players were in-phase and facing each other (during a down-line rally), both may be approaching or moving away from the centre of the court; if they were playing a cross-court rally, one was moving away and the other

approaching the centre, which in terms of the functionality of competitive performance is completely different. The in-phase mode of coordination during a cross-court rally demonstrates the existence of symmetry in the systemic interactions of the players. Conversely, if the players were playing facing each other down the sideline, a situation of system instability and possible rupture may be indicated (see Figure 3.5). This is possible due to the space that one of the players might leave open for the opponent to take advantage of. Likewise, in the anti-phase mode of coordination, system instability may occur if the players were playing cross court (e.g., the two players approaching the centre of the court following a *parallel variation*; exemplified by displacements after the third and fourth stroke of player 1 in the example of Figure 3.5). In an anti-phase mode, system symmetry may be indicated if they were playing facing each other. Whenever the players were moving away from the more stable modes of coordination a system perturbation or rupture may emerge.

Further research is needed to consider the direction of the displacement, and also the movement of players towards or away from the midline of the court and the net on emergence of interpersonal patterns of coordination in tennis.

3.5.2. Applications to Training

The demonstration of the sensitivity of the GDD index to a range of values associated with different transition situations during competitive performance, suggests that it may be a valuable tool for diagnosis, prescription and control of training exercises. In performance diagnosis, for example, if a player often loses a point through an opening angle or by a parallel variation situation with a displacement moment GDD Index below a certain threshold value (a critical mean value associated with each game situations determined by analyzing several games), it could imply that player's displacement ability on court needs to be improved. At the level of prescription of training exercises, the index could help to scale areas on court in relation to the position of an opponent that might promote transition situations during performance. Those zones can be created on the court, according to individual values of the GDD index while considering the intended position of the opponent to promote a specific transition (see examples in Figure 3.6). Finally, monitoring changing values of

the index allows us to evaluate the effect of the training process that is being implemented.

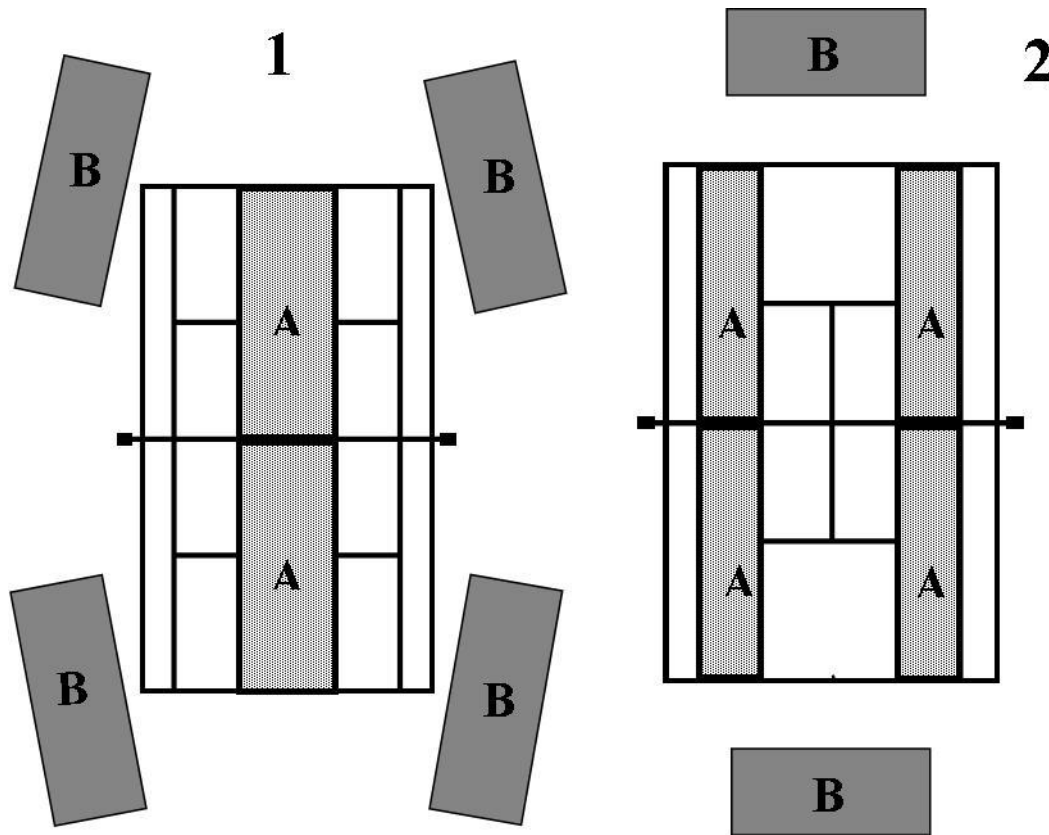


Figure 3.6. Example of two conditions considering opponent position and game zones that allow players to explore the different transition situations during performance: A - zones where ball is not allowed to bounce; B - areas to place the opponent.

3.6. Conclusion

The GDD index comprises information about player displacement and his/her relative position on the court at the key moments of stroke initiation and ball bouncing. It quantitatively describes how stable modes of coordination (order) and period's disorder arise, as well as transition situations that lead up to the winning of a point or to the emergence of new states of order in a rally from behind the baseline.

There were variation levels in these parameters that did not result in a change in system organization and critical values from which system order abruptly changed. This index measure may be used to determine the critical values that are associated with phase transitions in the mode of coordination between competing players.

Finally, these data provide new avenues for developing practical understanding of competitive performance in tennis. The collection of information about individual profiles of play using GDD index under similar and dissimilar performance conditions (e. g. opponents, types of tennis court surface) is a potentially useful advance in the performance analysis of tennis. This approach will allow us to learn about match patterns, the situations of system transition that occur most often and under which conditions, relative to the positioning of players on court. For example, it might be possible to understand that a specific performer, when displaced laterally or longitudinally to one side beyond a critical threshold value, will allow an opponent to move forward on court and control the game tactically. Similarly understanding when a performer is displaced to the right-hand or left-hand side, below a critical threshold value, might lead to transitions in a rally, with a *parallel variation* being created, provides an invaluable source of information for match preparation.

3.7. References

1. O'Donoghue, P., Performance models of ladies' and men's singles tennis at the Australian Open, International Journal of Performance Analysis in Sport, 2002, 2(1), 73-84.
2. O'Donoghue, P. and S.D. Liddle, A Notational Analysis of Elite Tennis Strategy, Journal of Sports Sciences, 2001, 19, 107-115.
3. Palut, Y. and P. Zanone, A dynamical analysis of tennis: Concepts and data, Journal of sports sciences, 2005, 23(10), 1021-1032.
4. McGarry, T. and I. Franks, A stochastic approach to predicting competition squash match-play, Journal of Sports Sciences, 1994, 12, 573 - 584.
5. McGarry, T. and I. Franks, Analysing Championship Squash Match Play: In Search of a System Description, in: Haake S., ed., The Engineering of Sport, Rotterdam: Balkema, 1996, 263-269.
6. Lames, M., *Modelling the interaction in game sports—relative phase and moving correlations*. Journal of Sports Science and Medicine, 2006. 5: p. 556-560.
7. McGarry, T., et al., Sport competition as a dynamical self-organizing system, Journal of Sports Sciences, 2002, 20(10), 771-781.

8. Fajen, B.R., M.A. Riley, and M.T. Turvey, Information, affordances, and the control of action in sport, International Journal of Sport Psychology, 2009, 40(1), 79-107.
9. Passos, P., et al., Information-governing dynamics of attacker-defender interactions in youth rugby union, Journal of Sports Sciences, 2008, 26(13), 1421-9.
10. Kelso, J.A.S., Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior, The MIT Press, 1995.
11. Rosenblum, M., et al., Phase synchronization: from theory to data analysis, in: Moss F. and Gielen S., eds., Handbook of biological physics, Elsevier Science, 2001, 279-321.
12. McGarry, T., Applied and theoretical perspectives of performance analysis in sport: Scientific issues and challenges, International Journal of Performance Analysis in Sport, 2009, 9(1), 128-140.
13. Crespo, M. and D. Miley, Advanced Coaches Manual, International Tennis Federation (ITF Ltd), London, 1998.
14. Duarte, R., et al., Capturing complex human behaviors in representative sports contexts with a single camera, Medicina (Kaunas), 2010, 46(6), 408-414.
15. Fernandes, O., et al., Validation of the tool for applied and contextual time-series observation, International Journal of Sport Psychology, 2010, 41(4), 63-64.
16. Abdel-Aziz, Y. and H. Karara, Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry, in: Symposium on Close-Range Photogrammetry, Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry, 1971.
17. James, N., J. Taylor, and S. Standley, Reliability procedures for categorical data in Performance Analysis, International Journal of Performance Analysis in Sport, 2007, 7(1), 1-11.
18. Goto, R. and C. Mascie-Taylor, Precision measurement as a component of human variation, Journal Physiological Anthropology, 2007, 26(2), 253-256.



Capítulo 4

Dynamics of player's relative positioning during baseline rallies¹²

¹² Carvalho, J., Araújo, D., Travassos, B., Esteves, P., Pessanha, L., Pereira, F., & Davids, K. (submitted). Dynamics of player's relative positioning during baseline rallies. (*Journal of Sports Sciences*).

4. Dynamics of players' relative positioning during baseline rallies in tennis

4.1. Abstract

This study analyzed interpersonal patterns of coordination emerging from the relative positioning, in the lateral and longitudinal axes, of players on court in baseline rallies in tennis. Here we propose a model (PA Index) that assigns a weight to the position of each player on court and determines a positional advantage, based on the relative proportionality between the lateral and longitudinal displacement values during rallies. Data from twenty-seven baseline rallies from three ATP matches on clay were analyzed. Results revealed that the PA index of players on court allowed us to describe their interpersonal coordination dynamics during baseline rallies. It also identified the emergence of ruptures in the coordination patterns of competing dyads that led to a point being scored. Positional advantage data may assist coaches to design more appropriate training tasks to enhance players' court coverage and performance during competitive interactions on court.

Keywords: Interpersonal coordination; positional advantage; performance analysis; match dynamics, perturbations.

4.2. Introduction

One of the main goals of sport performance analysis is to provide indicators that describe and explain players' behaviors during competitive performance. One issue that has attracted the attention of researchers to improve traditional performance analysis is the provision of theoretically-driven explanations of the dynamics of interactions between players. Specifically, there have been attempts to rationalize how actions emerge from the range of possible performance solutions offered by a competitive context (see, Araújo, Davids, Chow, & Passos, 2009). In this respect, the complex nature of competitive tennis has made it difficult to ascertain the relevant constraints on players' performance (Davids, Button, & Bennett, 2008). Identification of the performance conditions that objectively characterize an advantageous situation is a key issue for game understanding and for practice enhancement.

Ecological dynamics argues that sports competitions evolve as a nonlinear system based on continuous spatial-temporal relations between performers (McGarry, 2009; Glazier, 2010; Vilar, Araújo, Davids, & Button, 2012). Functional behaviors, such as decisions and actions, of performers are considered to emerge from their continuous interactions according to context-related performance constraints (for a detailed review see, Araújo et al., 2009). For example, in team ball sports the spatial-temporal coordination (interpersonal coordination) patterns between attacker and defender dyads have been revealed through analysis of a set of bio-physical variables (e.g., relative: angles, distances, velocities between players) (e.g., Araújo, Davids, & Hristovski, 2006; Passos, Araújo, Davids, Gouveia et al., 2009; Travassos, Araújo, Vilar, & McGarry, 2011; Vilar et al., 2012).

In tennis, spatial-temporal interactions of players have been considered through their oscillatory movements in relation to the central mark of the baseline, either to strike the ball or to defend their position on the court (Lames, 2006; Palut & Zanone, 2005). These interactions have been regarded as identical to those observed in systems formed by two coupled nonlinear oscillators. The interactions emerging between tennis players have tended to be analyzed using relative phase (Lames, 2006; Palut & Zanone, 2005), a measure that captures the synchronization in space and time of two agents or system components by quantifying the phase difference of their

continuous oscillatory behaviors (see, Rosenblum, Pikovsky, Kurths, Schäfer, & Tass, 2001). The previous studies of Palut and Zanone (2005) and Lames (2006) in tennis have revealed the existence of stable modes of synchronization (ordered system states), which correspond to the individual players moving in the same (in-phase) or opposite directions (anti-phase) on court. As observed in other biological systems, stable modes of coordination into which systems tend to settle are considered 'attractors' (Schmidt, O'Brien, & Sysko, 1999). The resistance of a system to change (due to a perturbation) expresses the strength of the stability of an attractor (Kelso & Engstrøm, 2006). Behavioural variability, rather than a source of undesirable noise, is viewed as an essential source of adaptability in system dynamics (Kelso, 1995). When stable modes of coordination are perturbed (i.e., fluctuations of agent behaviors in the system), different states of the system may arise and stabilize (order-order transitions) or decay (order-disorder transitions). This means that, in a game of tennis, the instability originating from players' behaviors may lead to the emergence of new stable system states, characterised by equilibrium in the system formed by both players. Alternatively, an unstable system state may emerge, where one of the players attempts to break the temporary symmetry of action and gets to win a point (a rupture of the system formed by the competing players).

A limitation of existing research is the failure to consider the relative positioning between players on court, specifically the positional advantage obtained by each player allowing him/her to score a point. In addition, the studies of Palut and Zanone (2005) and Lames (2006) despite recognizing the importance of longitudinal displacements, they centered their analysis specifically on lateral displacements patterns on the basis of apparent low levels of variability associated to the former.

In a competitive tennis match, the efficacy of lateral displacements trajectories of players to create a situation of advantage (e.g., through "angle opening"), depends to a large extent on the distance of the opponent to the baseline. The farther away the opponent is from the baseline, the greater is the distance he/she has to run to defend his/her position on court. Importantly, a player who succeeds in moving an opponent away the baseline, at the same that time he/she moves into the court (longitudinal displacements), gains a positional advantage. This means that he/she has the possibility of being "in control" of the interaction (i.e., leading it) by combining lateral

and longitudinal displacements on court (Crespo & Miley, 1998). Clearly, from an ecological dynamics perspective, a full explanation of the players' interpersonal interactions in a tennis rally should incorporate the dynamics of each player's lateral and longitudinal displacement trajectories on court.

In this study, we propose an empirical model that relates the competing players' lateral and longitudinal displacement trajectories according to their relative position on court. Our main goal was to understand how the positioning of players relative to the midline of the court and the net constrains the dynamics of their competitive performance. Such an analysis might allow a player's positional advantage over an opponent to be quantified. We hypothesized that the competitive advantage between players might be constrained by their relative positioning on court. We also expected that the model could describe and explain the relationship between each player's positional advantage relative to the rally outcome.

4.3. Methods

This study was conducted within the guidelines of the American Psychological Association and the protocol received approval from a local university ethics committee.

4.3.1. Data collection

Data were randomly selected from three matches on the central court of the 2008 ATP Tour 250 in the Estoril Open, a tournament played on clay in Portugal. The movement displacements of the players during performance was captured by a digital video camera (Panasonic mini DV - NVG21E), placed at one end of the tennis court to cover the whole playing area (i.e., player 1 closest to the camera and player 2 farthest to the camera). Twenty-seven rally sequences from match performance were selected for analysis according to two basic criteria: (i) the point had to start from behind the baseline with no positional advantage (i.e., after a serve had been returned; there should be at least one stroke moment in which the two players were positioned behind the baseline), and (ii), existence of a shot (break shot) that lead to the destabilization of the players' stable interactions and a point being scored. We excluded from analysis the part of the rally from the serve/return until the first selection criterion occurred. Two expert tennis coaches performed the selection

procedure based on the defined criteria. We obtained a percentage of agreement of coaches' rallies selection of 98 % and 100 %, intra-observer, and of 96.2 %, inter-observer, for the first criterion, and 100%, intra and inter-observer, for the second criterion (James, Taylor, & Stanley, 2007).

4.3.2. Data capture

The selected rallies were digitized at 25 Hz using the TACTO 8.0 software (see, Duarte, Ferreira, Folgado, & Fernandes, 2010; Fernandes, Folgado, Duarte, & Malta, 2010) to obtain the virtual coordinates (x, y) of the positions of the players on court over time. The procedure consisted of following with a computer mouse the projection on the floor of the midpoint of the two feet of each player, during the course of each rally, frame by frame. The virtual coordinates (in pixels) of the position of the players on court were converted into real (metric) coordinates using the direct method of linear transformation (2D-DLT) (Abdel-Aziz, & Karara, 1971), and the data were smoothed with a 6 Hz filter (a Butterworth low pass filter) (Winter, 2005).

From the time series data we determined the distance of each player to the midline of the court (dml) and to the centre of the net (dn). Lateral displacements on the court corresponded to the x-axis, and the longitudinal displacements corresponded to the y-axis (see figure 4.1).

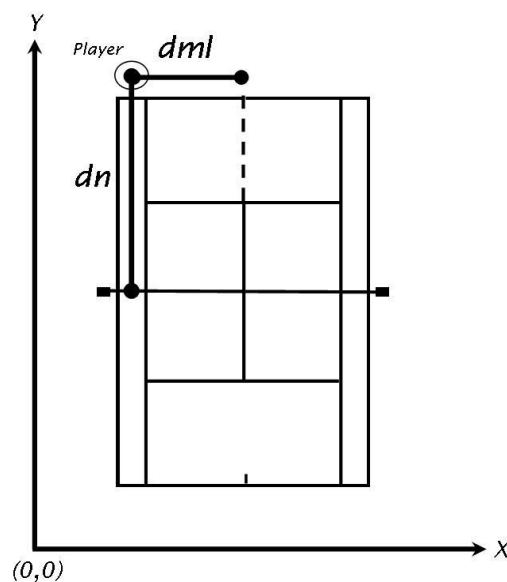


Figure 4.1. Schematic representation of the distance to the midline of the court (dml) and of the distance to the center of the net (dn) used to define the position of the players within the court.

4.3.3. Modeling players' advantage during the rally

We developed a model to explain how game advantage between players is constrained by their relative positioning on court. This model considered each player's positioning in relation to key spatial referents of tactical importance: the midline of the court and the net.

Four expert tennis coaches (M=15, SD=3.6 years of practice as coaches of professional tennis players), in a semi-structured interview, confirmed that the players' distance from the midline and the net is of the utmost importance to express the position advantage during the game. However, the relation between the distance of the player from these spatial referents and positional advantage is not linear. At a given critical value of this distance, any small variation may have a significant impact on the dynamics of the interactions by augmenting or reducing positional advantage of an individual player. It is thus possible to conceive that certain areas on court, at distinct distances to the midline and the net, express similar possibilities for gaining positional advantage of an individual player during a rally. According to the opinions of the expert coaches, one possibility for modeling players' advantages during the rallies could be the identification of distinct areas on court under the shape of ellipses, centered on the court center and with semi-axes on the net line and the court center, respectively (see figure 4.2). In this way, any position occupied by a player on court matches a positional value associated with the corresponding ellipsis.

We proposed that the formulation of such a model should assign a relative weight to the position of each player on court. This was based on a relation between the squares of the lateral and longitudinal displacement values relative to the midline and the net, respectively. Therefore, we included a weighting proportion of 2:1 between the distance values of each player to the midline and to the net in this model. Players' positioning (P) in the playing area can then be expressed by the following equation:

$$\text{Eq.1 } P_{(x)} = (2 \cdot d_{ml})^2 + d_n^2,$$

where, d_{lm} is the distance to the midline (x component) and d_n is the distance to the net (y component).

As observed in Figure 4.2, elliptic curves of equal positional value grow tighter as the players approach the net, aligned with changes in positional values. As they

move towards the midline, they have to move away from the net in a proportional way. This relation of proportion contributed to enhance the sensitivity of the model to capture the dynamics of the positional relations between players over time.

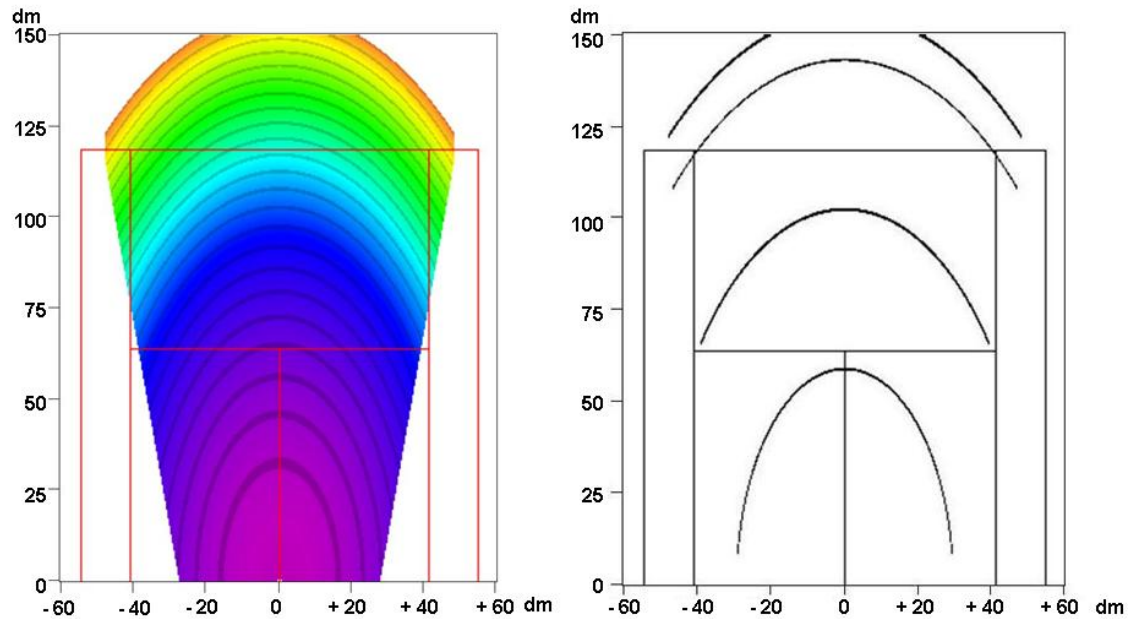


Figure 4.2. Curves representing equal positional values of the players in tennis half-court, according to the proposed model. Equal color and thickness of the curves express the same positional advantage of the player on the tennis court.

By comparing the position P of each player through the computation of the difference between player 1 (P_{P1}) and player 2 (P_{P2}) over time, it was possible to quantify the dynamics of each player's positional advantage/disadvantage during a rally from the baseline. For that we used the following equation:

$$\text{Eq.2} \quad \text{PA Index} = ((2 * dml_{P1})^2 + dn_{P1}^2) - ((2 * dml_{P2})^2 + dn_{P2}^2)$$

4.3.4. Data analysis

We started with a content validation of the model by expert tennis coaches. The dynamics of the rallies was evaluated through visual inspection, relating the graphic representation of the positional advantage (PA) produced by the model with data on the players' relative positioning as observed on the video recording of performance. To understand if the PA index adequately described the relative positioning of the players during the rallies, we compared the advantage shown by the PA (obtained with the model) with the experts' perceptions of each player's advantage in 15 randomly chosen situations in which competitive advantage was not readily

apparent (in still images). We verified that the expert's' opinions about which player held the advantage on court coincided with the PA index obtained from the model in all the situations that were assessed (100% coincidence).

The rupture situations of all the rallies were analyzed with descriptive statistics such as the mean, standard deviation, magnitude of PA (maximum and minimum values of PA index), and the PA range, (i.e., difference between the values at the moment of break shot and at the moment of opponents' return to the break shot).

To evaluate the reliability of the model to discriminate the rupture situations, the time series were synchronized with the stroke responsible for the rupture (break shot) identified by the expert tennis coaches. The variability before and after the break shot was analyzed through the calculation of the mean and standard deviation corresponding to each position (data point) in the set of analyzed rallies, represented in the shape of a band (average band, James, 2004) (James, 2004).

Since the variability of the players' interpersonal coordination tendencies is a function of both attractor strength (λ) and the magnitude (Q) of the stochastic noise that continuously operates to perturb the system (see, Richardson, Lopresti-Goodman, Mancini, Kay, & Schmidt, 2008; Schöner, Haken, & Kelso, 1986), we applied nonlinear Recurrence Quantification Analysis (RQA) to the PA Index values before and after the break shot (cf., Pellicchia, Shockley, & Turvey, 2005; Shockley & Turvey, 2005). This method involves embedding a pair of time series in a higher-dimensional, time-delayed embedding space (Abarbanel, 1996; Takens, 1981), which permits the reconstruction of the phase space of the time series (for a detailed review, see Shockley, 2005; Shockley, Butwill, Zbilut, & Webber, 2002; Webber & Zbilut, 2005; Zbilut, Giuliani, & Webber, 1998). Following the studies by Richardson et al. (2008), and Shockley and Turvey (2005), we used the percentage of data points that are recurrent (%REC) to understand the influence of the amount of noise that disturbs the system (Q). We also used the longest parallel trajectory of consecutive recurrent points (MAXLINE) to evaluate the strength of the attractor and the stability of the time series (λ). We individually selected the RQA input parameters for each time series (cf. Abarbanel, 1996) due to the short length of some time series (i.e., a minimum of 70 points). To carry out this analysis MatLab routines, specifically designed for this purpose, were used.

For statistical purposes, the data distributions of PA index (mean values and standard deviation), % REC and MAXLINE were evaluated for assumptions of normality and homogeneity. All comparisons between moments before and after the break shot were made through the Wilcoxon signed rank test.

4.3.5. Reliability

One of the 27 rallies analyzed was selected at random to attest the accuracy and the reliability of the digitization process through the technical error of measurement (TEM) and coefficient of reliability (R) (Goto & Mascie-Taylor, 2007). The TEM revealed values in the x component of 0.02 meters (0.16%) and of 0.06 meters (0.47%), and in the y component of 0.01 metres (0.15%) and 0.12 metres (0.33%), in the positions of the player 1 and player 2, respectively. The coefficients of reliability found in both components of the two players were above $R = .998$.

4.4. Results

4.4.1. Dynamics of interaction between players

On average, the magnitude of PA in the rupture situations was 176.5 ± 54.3 , with a maximum of 286 and a minimum of 99. The PA magnitude reached values above 120 in 89% of the situations of rupture, and the variation of the PA index (the PA range), was superior to 30 in 81% of the rallies analyzed. The mean value of PA at the moment of an opponent's return to the break shot was 78.4 ± 37.9 . From all trials considered, 85% presented PA values larger than 40.

As an exemplar rally, figure 4.3 revealed the dynamics of positional advantage between players. When the positional advantage assumed negative values, the advantage is with the player closest to the camera (PI1), and when it assumed positive values, the advantage is with the farthest player to the camera (PI2). In this exemplar rally, the positional advantage was initially with PI1, even reaching a critical value (according to the mean values presented previously) near 12 seconds of performance time line. From this moment on, PI2 try to redress the balance near 15 seconds allowing him to gain a positional advantage ($PA > 200$) to score the point. The vertical line signals the stroke moment which, according to the expert coaches, induced a rupture in the players' interactions.

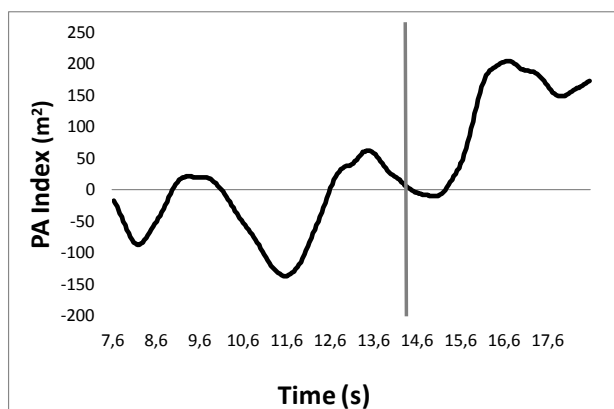


Figure 4.3. Exemplar data of the PA Index in the course of a rally. Negative values indicate a positional advantage of the closest player to the camera (PI1) and the positive values a positional advantage of the farthest player to the camera (PI2). The vertical line signals the stroke moment which, according to the expert coaches, induced a rupture on players' interaction.

4.4.2. Ruptures in the interpersonal dynamics during the rallies

Analysis of the average and standard deviation of PA index, represented as an average band plus and minus standard deviation over time, revealed that, shortly after the break shot (represented by the vertical line), a sudden variation of PA index of 40m² of the positional advantage values occurred near 20s. This variation shows that a rupture situation occurred in the interactions of the dyad and that from that instant onwards it was being driven by one of the players (Figure 4.4).

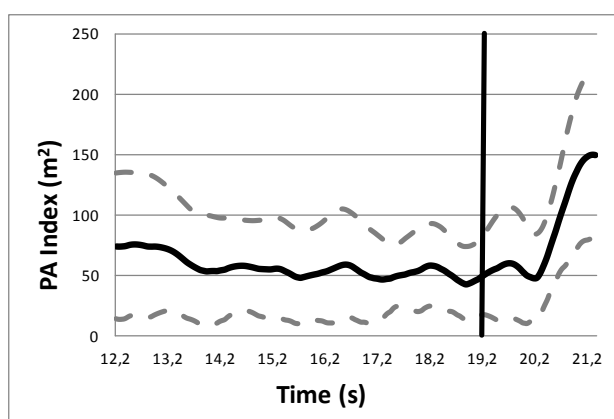


Figure 4.4. Average (solid line) and standard deviation (dashed lines) of PA index, represented as an average band plus and minus standard deviation over time, considering the set of the analyzed trials. The vertical line signals the stroke moment which, according to the expert coaches, originated the situation of rupture. This was the moment used to synchronize the series.

Significant differences were found between the mean values of the PA Index ($Z = -4.99$, $p < .001$) and of the standard deviation ($Z = -3.93$, $p < .001$) before and after the break shot.

The regularity of the time series (%REC) data was significantly higher after the break shot ($Z = 2.42$; $p < .05$). Conversely, the longest trajectory of consecutive recurrent points (MAXLINE) decreased significantly after the break shot ($Z = 2.76$; $p < .01$; see figure 4.5).

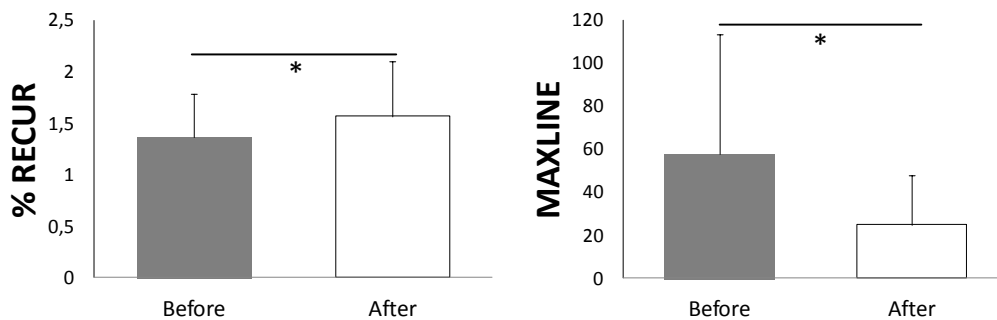


Figure 4.5. Mean values of the % REC and the %MAXLINE before and after the break shot.

4.5. Discussion

The primary goal of this study was to analyze the effects of the players' relative positioning on court on their spatial-temporal coordination in rallies from the baseline. For that purpose, we designed a model that quantified positional advantage through the comparison of the weights assigned to the positioning of each player in relation to two fundamental spatial referents: the midline and the net. Results show that the positional advantage in the course of the rallies, as captured by the model, consistently described the dynamics of the interaction between players.

We expected that the positional disadvantage of one player would increase when he moved to hit the stroke and decrease when he recovered to a more central position to defend the court. As observed in the exemplar trial, the PA Index initially oscillates far from zero, which means that the coordination of players' displacements on court was not stable in this rally. It seems that both players may have been exploring the landscape of opportunities to gain a positional advantage over the opponent. From a given critical PA value, an abrupt change in the coordination mode occurs, where one of the players clearly starts driving the interaction (rupture on

players' interaction). The PA index allowed quantification and interpretation of the dynamics of play between players, signifying that players can use this information to regulate their actions during performance. Rather than be focused solely on the regulation of their own actions, tennis players need to attend to the action capabilities of opposing players according to the relative position between them (Cordovil & Barreiros, 2010; Marsh, Richardson, Baron, & Schmidt, 2006). The implementation of the PA index model permitted us to understand how functional actions emerged within a set of performance constraints (e.g., relative position on court) from the multitude of possible solutions in the landscape of players' action possibilities (Araújo et al., 2009).

Based on the PA index values observed at the moment of an opponent's return to the break shot and the PA range, we suggest that from a PA Index of 40 and a PA range of 30 the emergence of a rupture situation is likely to occur. That is, from these values onwards, the players' spatial-temporal relations becomes unstable, which forces the system to evolve to a new state of organization, as formerly observed in the relation between attacker and defense in rugby (Passos, Araújo, Davids, Milho, & Gouveia, 2009). Therefore, what is needed next is to define the critical values of reference for the PA and establish a relation between those values and certain match condition. This implies applications of the model to a larger number of rallies between different players in future research.

The fact that the positional advantage is significantly greater after the break shot, show the consistency in the identification of the moment of rupture. Importantly, the model identified situations of rupture in a rally from the baseline in the same way seasoned expert coaches do.

The recurrence analysis of the time series of players' positional advantage showed that, after the break shot, they became significantly more regular ($> \%REC$) and temporally less stable ($< MAXLINE$). This observation indicates that the spatial-temporal interactions of the players had changed by influence of the break shot. Following previous research on social interactions (e.g., Richardson et al., 2008; Shockley & Turvey, 2005), our results suggested that the increase in variability is due to a decrease in the strength of the attractor ($MAXLINE$) and not to an increase of the underlying noise ($\% REC$). A possible explanation for this increase in the regularity of

the patterns of interpersonal coordination could be the narrowing of the possibilities of the players' action after the break shot, where an ultimate solution for goal-achievement may have emerged (Araújo et al., 2006). On the other hand, less temporal stability after the break shot may express a decrease in the attractor strength. In this case, the system may have transited to a less stable state of order due to the change in the spatial-temporal interactions, related with greater positional advantage of one of the players. As expected we verified that instabilities in the competing players' interactions may result in the emergence of a new state of system organization. When the symmetry of players' actions is perturbed, a rupture in the coordinated state formed by the performers can emerge.

To conclude, this study showed that in a tennis match the relative position of the players on the court constrained the dynamics of their competitive performance. In addition, through the quantification of the positional advantage, it was possible to identify and describe rupture situations which lead to the point being scored during the rally.

4.5.1. Practical applications

Since the PA index allowed us to quantify the positional advantage of the players, it may be regarded as an important tool in the analysis of the players' performance in tennis at the level of diagnosis, prescription and control of training exercises. Concerning performance diagnosis in tennis, if the mean value of the PA index, associated with the situations of rupture, is below the PA critical value it could imply that a player's displacement ability on court (court coverage) needs to be improved. The PA Index could also help coaches to understand which type of dynamics is more often used by players, for game preparation, for instance.

This information could also help coaches to design more appropriate training tasks and enhance players' performance. For example, to scale areas on court which may invite players to explore rupture situations to the opponent according to their relative positions on court. Different areas on court may be designed that indicate a percentage of positional advantage in relation to a given referential (e.g., 20%). This referential, expressed by an ellipse, could represent neutral positioning, where players could pursue stable stables with the opponent, or advantageous positioning, where

players could achieve dominance states in relation to the opponent (see example in figure 4.6).

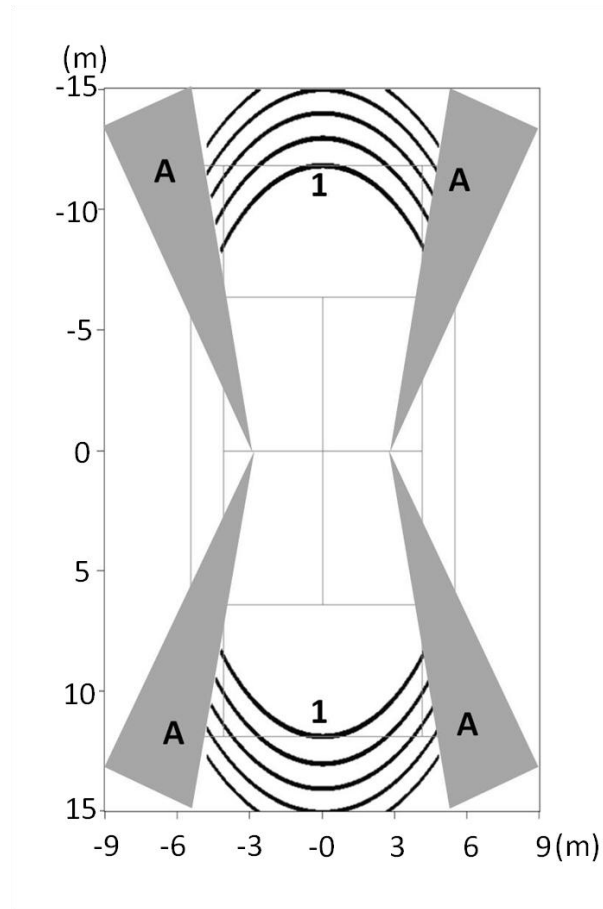


Figure 4.6. Between the ellipses drawn over the baseline there is a positional advantage of 20%. To draw the ellipses, the PA values were normalized in relation to the ellipsis (1) that goes over the central mark of the baseline, and to which we assigned value 100. In the A zones, the proportionality between d_{lm} and d_r as defined in the model changes and the positional disadvantage is even greater.

The PA Index may also play an important role in the evaluation of the effect of the training process that is being implemented, by monitoring changes over time in the critical values of the PA index. In short, the PA Index may be a valuable tool in the dynamic analysis of interaction in tennis.

4.6. Acknowledgements

We thank Professor Michael A. Riley, from the Center for Cognition, Action, and Perception, Department of Psychology, University of Cincinnati for his valuable help with the Recurrence Quantification Analysis.

4.7. References

- Abarbanel, H. (1996). *Analysis of observed chaotic data*. New York: Springer-Verlag.
- Araújo, D., Davids, K., Chow, J. Y., & Passos, P. (2009). The development of decision making skill in sport: an ecological dynamics perspective. In D. Araújo, H. Ripoll & M. Raab (Eds.), *Perspectives on cognition and action in sport* (pp. 157-170). New York: Nova Science Publishers.
- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653-676.
- Cordovil, R., & Barreiros, J. (2010). Adults' perception of children's height and reaching capability. *Acta Psychologica*, 135(1), 24-29.
- Crespo, M., & Miley, D. (1998). *Advanced Coaches Manual*. London: International Tennis Federation (ITF Ltd).
- Davids, K., Button, C., & Bennett, S. (Eds.). (2008). *Dynamics of skill acquisition: a constraints-led approach*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Duarte, R., Ferreira, R., Folgado, H., & Fernandes, O. (2010). Interpersonal dynamics in team sports: The role of TACTO and its applications. *International Journal of Sport Psychology*, 41(4), 62.
- Fernandes, O., Folgado, H., Duarte, R., & Malta, P. (2010). Validation of the tool for applied and contextual time-series observation. *International Journal of Sport Psychology*, 41(4), 63-64.
- Glazier, P. (2010). Game, Set and Match? Substantive Issues and Future Directions in Performance Analysis. *Sports Medicine*, 40(8), 625-634.
- Goto, R., & Mascie-Taylor, C. (2007). Precision measurement as a component of human variation. *Journal Physiological Anthropology*, 26(2), 253-256.
- James, C. (2004). Considerations of movement variability in biomechanics research. In N. Stergiou (Ed.), *Innovative analyses of human movement* (pp. 29-62). Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.
- James, N., Taylor, J., & Stanley, S. (2007). Reliability procedures for categorical data in Performance Analysis. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 7(1), 1-11.
- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. The MIT Press.

- Kelso, J. A. S., & Engstrøm, D. A. (2006). *The complementary nature*: MIT Press.
- Lames, M. (2006). Modelling the interaction in game sports—relative phase and moving correlations. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 556-560.
- Marsh, K. L., Richardson, M. J., Baron, R. M., & Schmidt, R. C. (2006). Contrasting approaches to perceiving and acting with others. *Ecological Psychology*, 18(1), 1-38.
- Palut, Y., & Zanone, P. (2005). A dynamical analysis of tennis: Concepts and data. *Journal of Sports Sciences*, 23(10), 1021-1032.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Serpa, S., Milho, J., et al. (2009). Interpersonal Pattern Dynamics and Adaptive Behavior in Multiagent Neurobiological Systems: Conceptual Model and Data. *Journal of Motor Behavior*, 41(5), 445-459.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Milho, J., & Gouveia, L. (2009). Power law distributions in pattern dynamics of attacker-defender dyads in the team sport of rugby union: Phenomena in a region of self-organised criticality? *Emergence, Complexity and Organization*, 11(2), 37-45.
- Pellecchia, G., Shockley, K., & Turvey, M. (2005). Concurrent cognitive task modulates coordination dynamics. *Cognitive Sciences*, 29, 531-557.
- Richardson, M., Lopresti-Goodman, S., Mancini, M., Kay, B., & Schmidt, R. (2008). Comparing the attractor strength of intra- and interpersonal interlimb coordination using cross-recurrence analysis. *Neuroscience Letters*, 438, 340-345.
- Rosenblum, M., Pikovsky, A., Kurths, J., Schäfer, C., & Tass, P. A. (2001). Phase synchronization: from theory to data analysis. In F. Moss & S. Gielen (Eds.), *Handbook of biological physics* (Vol. 4, Neuro-informatics, pp. 279-321): Elsevier Science.
- Schmidt, R. C., O'Brien, B., & Sysko, R. (1999). Self-organization of between-persons cooperative tasks and possible applications to sport. *International Journal of Sport Psychology*, 30(4), 558-579.
- Schöner, G., Haken, J., & Kelso, J. (1986). A stochastic theory of phase transitions in human movement. *Biol. Cybern.*, 53, 247-257.

- Shockley, K. (2005). Cross recurrence quantification of interpersonal postural activity. In M. A. Riley & G. V. Orden (Eds.), *Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences* (pp. 142-177): Retrieved from <http://www.nsf.gov/sbe/bcs/pac/nmbs/nmbs.pdf>
- Shockley, K., Butwill, M., Zbilut, J., & Webber, C. (2002). Cross recurrence quantification of coupled oscillators. *Physics Letters A*, 305, 59-69.
- Shockley, K., & Turvey, M. (2005). Encoding and Retrieval During Bimanual Rhythmic Coordination. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(5), 980-990.
- Takens, F. (1981). Detecting strange attractors in turbulence. In D. Rand & L. S. Young (Eds.), *Dynamical systems and turbulence* (pp. 366-381). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Travassos, B., Araújo, D., Vilar, L., & McGarry, T. (2011). Interpersonal coordination and ball dynamics in futsal (indoor football). *Human Movement Science*, 30, 1245-1259.
- Vilar, L., Araújo, D., Davids, K., & Button, C. (2012). The role of ecological dynamics in analysing performance in team sports. *Sports Medicine*, 42(1), 1-10.
- Webber, C., & Zbilut, J. (2005). Recurrence Quantification Analysis of Nonlinear Dynamical Systems. In M. A. Riley & G. V. Orden (Eds.), *Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences* (pp. 26-94): Retrieved from <http://www.nsf.gov/sbe/bcs/pac/nmbs/nmbs.pdf>.
- Zbilut, J., Giuliani, A., & Webber, C. (1998). Detecting deterministic signals in exceptionally noise environments using cross-recurrence quantification. *Physics Letters A*, 246, 122-128.

Capítulo 5

El entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis: ¿qué fundamentos científicos se pueden aplicar en los programas de entrenamiento?¹³

¹³ Carvalho, J., Araújo, D., García-González, L., & Iglesias, D. (2011). El entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis: ¿qué fundamentos científicos se pueden aplicar en los programas de entrenamiento? *Revista de Psicología del Deporte*, 20(2), 767-783. ISSN: 1132-239X.

5. El entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis:¿qué fundamentos científicos se pueden aplicar en los programas de entrenamiento?

5.1. Resumen

El objetivo de este artículo es realizar una revisión de los estudios que se han realizado en el ámbito de la toma de decisiones en el deporte, y en particular en el tenis. Presentamos los constructos teóricos que fundamentan los distintos enfoques, los procedimientos metodológicos más utilizados y sus principales limitaciones, evidenciando la necesidad de la práctica basada en evidencias científicas en el rendimiento experto de los jugadores de alto nivel. Sobre la base de los principios teóricos de la dinámica ecológica, sugerimos una nueva propuesta de entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis basada en la manipulación de constreñimientos. Para finalizar indicamos algunas sugerencias metodológicas a tener en cuenta en futuras investigaciones en el área del entrenamiento de la toma de decisiones en el deporte.

Palabras clave: Entrenamiento, Toma de Decisiones, Tenis, Dinámica Ecológica.

5.2. Introducción

Durante mucho tiempo, prevaleció la idea de que existían pocos beneficios para el rendimiento deportivo a través del entrenamiento de la toma de decisiones, ya que dependía mucho del talento innato, o sea, de las limitaciones naturales de cada individuo. Después comenzó a acreditarse que las mejoras observadas a lo largo del tiempo a nivel de rendimiento, sólo podrían ser explicadas a través de la posibilidad de entrenamiento para amplificar esas habilidades cognitivas innatas. La admisión de esta posibilidad permitió desarrollar la convicción de que la práctica extensiva en actividades relevantes sería el factor más importante para conseguir la excelencia en el rendimiento deportivo (Teoría de la Práctica Deliberada, Ericsson, Krampe, y Tesch-Römer, 1993). Actualmente se admite que, más allá del efecto aislado de la cantidad de práctica, interesa considerar el tipo y la forma en la que la práctica es efectuada, es decir, la relevancia de las situaciones que son vividas y el compromiso que es puesto en la vivencia de esas situaciones (para una revisión ver Ward et al., 2008).

En esta última década se han verificado avances significativos en el intento de determinar cuáles son las técnicas más efectivas en el desarrollo de habilidades perceptivo-cognitivas, con el objetivo de proporcionar bases empíricas que fundamenten el entrenamiento orientado hacia una práctica basada en las evidencias científicas (ver Williams y Ward, 2001, 2003). Uno de los principales objetivos que la investigación basada en el rendimiento experto persigue, es intentar explicar el rendimiento y la cognición de los jugadores en tareas consideradas representativas, es decir, aquellas que permiten una interacción entre el individuo y el ambiente y que son capaces de proporcionar la información necesaria para que emerjan comportamientos funcionales y adaptativos que son específicos de las situaciones de juego (Davids, Button, Araújo, Renshaw y Hristovski, 2006). De acuerdo con la opinión de Ward y colaboradores (Ward, Williams, y Hancock, 2006), la investigación sobre el entrenamiento de las habilidades perceptivo-cognitivas y de la toma de decisiones, se ha basado más en los resultados provenientes de la práctica o en modas, que en pruebas empíricas concretas y con la intención de encontrar un proceso explicativo, lo que le confiere poco valor práctico.

Aunque la investigación en este área de conocimiento está fundamentada esencialmente en teorías de procesamiento de la información y por tanto basada en

una perspectiva cognitivista, es posible identificar una valoración cada vez mayor de la influencia de las variables del contexto en el rendimiento (e.g., Teaching Games for Understanding - TGfU, desarrollado por Bunker y Thorpe, 1982). En los últimos años, se está desarrollando un nuevo enfoque del entrenamiento de la toma de decisiones fundamentado en los principios teóricos de la dinámica ecológica, que admite que el control de los movimientos se produce por la interacción establecida entre el individuo y el contexto, sin tener necesidad de otros procesos internos de inferencia más allá de la percepción. De acuerdo con esta perspectiva el objetivo del entrenamiento de la toma de decisiones es intervenir a nivel de esta relación, o sea mejorar la capacidad de detectar y utilizar la información que determina la acción que está disponible en el ambiente, a través de la manipulación de los constreñimientos considerados relevantes al nivel de la tarea, del individuo y del ambiente (para una revisión ver Araújo, Davids, Chow, y Passos, 2009).

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de la investigación que se ha realizado en el ámbito del entrenamiento de las habilidades perceptivo-cognitivas y de la toma de decisiones, particularmente en relación a la que ha sido efectuada en tenis. Para eso se tendrán en cuenta los constructos teóricos que fundamentan los diferentes enfoques, los procedimientos que son más utilizados y las principales limitaciones. Por último, presentamos los principales argumentos teóricos que fundamentan el entrenamiento de la toma de decisiones basado en la manipulación de constreñimientos y referimos algunas sugerencias para investigaciones futuras.

5.3. Programas de entrenamiento de la toma de decisiones en el deporte

Dentro del proceso de desarrollo de la toma de decisiones, la psicología cognitiva nos aporta una serie de recursos que pueden permitir mejorar la capacidad decisional de los deportistas, a través de la incidencia en distintas variables (e.g., comportamiento visual, conocimiento previo a la acción, etc.), partiendo del hecho de que enseñar a los jugadores a tomar decisiones concretas durante las acciones de juego es una tarea compleja (Turner y Martinek, 1999). En cuanto a la intervención sobre aspectos perceptivo-cognitivos, el uso de distintos tipos de instrucción pueden desarrollar estas habilidades (Williams y Ericsson, 2005). Presentaremos en seguida

distintas intervenciones orientadas a la mejora de la capacidad decisional de los deportistas, y que tienen transferencia al tenis.

5.3.1. Programas de entrenamiento perceptivo-cognitivo

Los programas de entrenamiento perceptivo aparecen normalmente como un método de desarrollo de estrategias visuales, donde la mejoría de las habilidades decisionales y anticipatorias de los deportistas es realizada a través de la mejora de su capacidad perceptiva, entendido como un proceso anterior a la decisión. Estos programas pretenden facilitar y promover los vínculos entre las pistas de información relevante de una situación deportiva y el comportamiento que es realizado posteriormente (Abernethy, 1990; Abernethy y Russel, 1987; Goulet, Bard, y Fleury, 1989; Luis, 2008).

En este sentido, el uso de simulaciones en vídeo para mejorar las habilidades perceptivas y decisionales en el deporte tiene gran relevancia, aplicando métodos basados en el reconocimiento, detección y anticipación en situaciones de juego, con relación al comportamiento perceptivo de los deportistas (Williams y Grant, 1999; Williams y Ward, 2003). Normalmente, asociada a la práctica extensiva, que permite que los jugadores usen progresivamente fuentes de información de un modo cada vez más implícito, son utilizadas técnicas que permiten la instrucción y la administración de feedback (Janelle, Champenoy, Coombes, y Mousseau, 2003). A través de la simulación en vídeo son presentadas secuencias de juego en tenis en tiempo real o a cámara lenta, a veces a tamaño real, y son seleccionados por los investigadores los momentos precisos de parada de las imágenes con el objetivo de que los jugadores aumenten su atención hacia las fuentes informativas clave y disminuyan la atención sobre detalles perceptivos irrelevantes (e.g., Abernethy y Wollstein, 1989; Farrow, Chivers, Hardingham, y Sachse, 1998). Se parte del principio de que este proceso de simplificación de las fuentes de información a procesar permite una mejoría de las habilidades perceptivas y tiene una transferencia positiva hacia las situaciones de juego (Farrow y Abernethy, 2002).

Una de las capacidades cognitivas que más ha marcado los estudios efectuados en el ámbito del entrenamiento de las habilidades perceptivo-cognitivas, ha sido el reconocimiento en la memoria de patrones de juego (ver Ward et al., 2008). Estos

estudios, originalmente realizados en ajedrez (e.g., Ericsson y Oliver, 1988; Ericsson y Staszewski, 1989), se basaban en la constatación de que los jugadores expertos tienen una capacidad superior para reconocer y recordar patrones de juego, y la convicción de que esta capacidad es esencial para prever y anticipar la intención de los adversarios en los juegos deportivos. De forma general los resultados de estos estudios sugieren que, asociado a la mejoría de las habilidades de reconocimiento de patrones, se puede verificar una mejoría en el rendimiento en tareas artificiales, como puede ser recordar determinadas configuraciones de juego. Aún así no existen evidencias para suponer que esas mejoras tengan transferencia hacia el juego real.

Uno de los estudios realizado en tenis, muy citado por el hecho de que los resultados obtenidos pueden ser atribuidos al proceso de entrenamiento desarrollado, es el de Farrow et al. (1998). En este estudio, un grupo de tenistas noveles entrenó en anticipación durante 4 semanas (2 horas por semana), a través de un simulador. Se presentaban imágenes con secuencias de acción, en las que los jugadores tenían que responder a un servicio virtual. Fue creado un grupo experimental que entrenó para captar las pistas de información consideradas como relevantes sobre aspectos posturales que especificaban el tipo y la dirección de los golpes, administrándoles feedback sobre su rendimiento. Un grupo placebo visionaba el juego de tenistas profesionales y posteriormente se les cuestionaba sobre aspectos relevantes del juego. Y un grupo control solamente realizó el pre-test y el post-test. Los resultados mostraron que el proceso de entrenamiento perceptivo permitió reducir significativamente el tiempo de respuesta en relación a los otros grupos. A semejanza de lo realizado por Williams, Ward, Knowles e Smeeton (2002), también en tenis, los resultados de este estudio ganarían consistencia si se hubiese evaluado la transferencia a través de una situación de respuesta a los servicios realizados en pista.

Recientemente ha aumentado la preocupación de basar el entrenamiento en evidencias empíricas sobre el rendimiento de jugadores expertos. Esas evidencias tendrían que ser debidamente contextualizadas, debido al hecho de que las pistas de información pueden variar a lo largo del tiempo (Salvelsbergh, Williams, Van der Kamp, y Ward, 2002; Williams y Ward, 2001, 2003). Uno de los estudios aplicado al tenis que sigue esta perspectiva (Williams et al., 2002) tenía por objetivo verificar las diferencias que existen entre jugadores noveles y jugadores expertos cuando intentan anticipar la

dirección de un golpeo realizado por el oponente, en una tarea representativa. Fueron creados dos grupos experimentales, uno de entrenamiento tradicional y otro de descubrimiento guiado. El grupo de entrenamiento tradicional fue instruido explícitamente sobre la relación que existe entre las pistas de información relevante y la dirección de los golpes. Fue proporcionado feedback y se dio la posibilidad de practicar las acciones y corregir los errores. Al grupo de descubrimiento guiado no se le dio ninguna instrucción o feedback sobre los aspectos de ejecución explícitos, pero fueron realizadas las áreas (o zonas) con un elevado potencial informativo que los jugadores debían explorar y relacionar con el resultado. La duración del entrenamiento era de 60 minutos y estaba compuesto por simulación a través de video, oclusión temporal y práctica en pista. Fue creado también un grupo placebo, que durante los mismos 60 minutos observaba un vídeo con instrucciones técnicas sobre la ejecución de los golpes y sobre el juego, y un grupo control que solo participaba en el pre-test y en el post-test. Los resultados mostraron que los dos grupos experimentales mejoraban de forma significativa respecto a la precisión de la respuesta y no fueron encontradas diferencias significativas entre los dos métodos de entrenamiento.

La idea de que la percepción para juzgar y la percepción para actuar están atendidas por estructuras funcionales del cerebro diferentes (ver Goodale y Milner, 1992) levanta la cuestión de saber hasta qué punto debe ser mantenida una relación estrecha entre percepción y acción en las situaciones de entrenamiento de la toma de decisiones (ver Williams, Ward, Smeeton, y Allen, 2004). Williams y colaboradores realizan un estudio con tenistas poco experimentados, y la tarea utilizada fue identificar la dirección de la bola en situación de respuesta al servicio. Intentaban saber si el entrenamiento que solicita únicamente el juicio perceptivo (simulado) produce menor efecto que aquel que asocia la respuesta motora a las secuencias de acción. Un grupo llamado de percepción-acción realizaba 45 minutos de entrenamiento en pista compuesto por: 5 minutos de instrucción sobre aspectos biomecánicos de la ejecución del servicio, seguidos de 20 minutos de instrucción sobre las pistas más relevantes de información para la anticipación de la respuesta, llamando la atención hacia conexión entre la información y el movimiento efectuado por el sacador (para una información más específica sobre las pistas relevantes de información ver Cauraugh y Janelle, 2002; Goulet et al., 1989; Singer, Cauraugh, Chen,

Steinberg, y Frehlich, 1996; Singer et al., 1998), y para finalizar, 20 minutos más de práctica de la respuesta en pista para “refinar” el acoplamiento entre percepción y acción. Es importante referir que esta práctica de movimiento fue condicionada, realizando únicamente el desplazamiento para el lado donde se preveía que fuera colocada la bola (derecha o izquierda). Otro grupo, llamado de percepción, realizaba un entrenamiento semejante en todo al grupo anterior, con diferencias únicamente en los últimos 20 minutos de práctica en la que no se realizaba ninguna acción motriz, y solamente identificaba y verbalizaba cuál era la dirección del servicio. Por último, había además otro grupo que hacía lo mismo en los 5 primeros minutos y después recibía 20 minutos de instrucciones técnicas sobre la ejecución de los golpes de derecha y revés, más 20 minutos de práctica motriz de devolución del servicio sin ninguna instrucción. Las variables analizadas fueron el tiempo de inicio de la respuesta y la precisión de la respuesta. Los resultados mostraron que los procesos de entrenamiento relativos a los grupos de percepción y percepción-acción favorecieron de igual forma una disminución significativa en el tiempo de respuesta y evidencian la utilidad del entrenamiento perceptivo realizado en pista.

Aunque estos resultados vengán a confirmar las conclusiones presentadas en otros estudios (Abernethy, Wann, y Parks, 1998; Singer et al., 1994; Williams, Ward, y Chapman, 2003; Williams et al., 2002), la inexistencia de diferencias entre los dos métodos puede deberse al hecho de que las condiciones de realización de la respuesta y de su evaluación, no fueron suficientemente representativas de la situación de juego. O sea, pedir que se identifique solamente la dirección del servicio, aunque esa identificación sea realizada a través de una acción motriz, sin evaluar el resultado de la respuesta, su dirección, velocidad y profundidad, de acuerdo con el tipo de servicio que se ha efectuado, hace que ambos métodos sean muy semejantes.

El avance tecnológico al que hemos asistido en los últimos años a nivel de realidad virtual, abre un campo de investigación y de desarrollo de programas de entrenamiento basados en el acoplamiento percepción-acción muy prometedor. Estos sistemas, al tiempo que permiten entender cómo actúan los individuos de acuerdo con la información que perciben del ambiente, no aclaran la forma de actuar para percibir mejor la información. Sin embargo, estamos convencidos que en el futuro será decisiva

para determinar el contenido y los métodos más eficaces para mejorar y lograr la excelencia en el rendimiento deportivo.

5.3.2. Programas de entrenamiento basado en la comprensión previa a la acción

El desarrollo de conocimiento, está relacionado con los procesos cognitivos, de forma que no sólo está relacionado con el proceso decisional, sino que interviene también en otros procesos como la percepción (MacMahon y McPherson, 2009). El desarrollo de estructuras de conocimiento asociadas a tareas específicas, junto con procesos de codificación y recuperación eficientes proporcionan una ventaja significativa cuando en una situación deportiva se intenta tomar una decisión adecuada bajo limitaciones temporales, como ocurre en el tenis (Ericsson y Kintsch, 1995).

El desarrollo de programas formativos para la mejora de la capacidad decisional en muchas ocasiones se ha basado en la mejora de la base de conocimiento de los deportistas y que han tratado de conseguirlo a través de procesos instruccionales más explícitos o más implícitos (para una revisión ver Raab, 2007). A continuación, expondremos algunos ejemplos que se han desarrollado con distintos modelos de enseñanza aplicados al tenis.

Uno de los modelos de enseñanza que ha tenido gran aplicación ha sido el enfoque de los juegos para la comprensión (*Teaching Games for Understanding* -TGfU-) desarrollado por Bunker y Thorpe (1982) que ha sido aplicado para evaluar la transferencia de los juegos al comportamiento táctico-decisional (Oslin, Mitchell, y Griffin, 1998) así como para facilitar el desarrollo de conocimiento táctico (Butler, 1997; Gréhaigne, Godbout, y Bouthier, 1999; Mitchell, Griffin, y Oslin, 1995; Rovegno, Nevett, Brock, y Babiarz, 2001), estableciéndose como una de las metodologías más favorecedores del procesamiento de la información y de la capacidad decisional de los deportistas (para una revisión ver Griffin, Brooker, y Patton, 2005).

En deportes de raqueta se ha demostrado que el uso de los TGfU producen mejoras a nivel decisional, incluso demostrando transferencia entre deportes, de forma que la intervención en bádminton puede producir transferencia en el aprendizaje del tenis *indoor* (Mitchell y Oslin, 1999). Otros estudios también han demostrado los beneficios que la enseñanza a través de TGfU tiene sobre la toma de

decisiones en tenis, siendo una aproximación válida para la mejora decisional de los jugadores de tenis en distintas situaciones de juego, y basándose en la mejora del nivel de conocimiento procedimental (McPherson y French, 1991). A través de esta metodología aplicada al tenis, los deportistas conseguirán la comprensión de la dinámica de juego y aprenderán competencias prácticas (Unierzyski y Crespo, 2007).

Otro modelo de aprendizaje es el SMART (*Situation Model of Anticipated Response consequences for Tactical training*) desarrollado por Raab (2003). Este modelo define el uso de procesos de aprendizaje implícitos o explícitos en función de la complejidad de la situación, donde el aprendizaje de las decisiones en el deporte se producirá a través de la relación (*mapping*) entre la situación, el movimiento y sus efectos en el entorno, de forma que el aprendizaje decisional implícito produce mejores decisiones y más rápidas en situaciones de baja complejidad, asociado a decisiones intuitivas; por otro lado, el aprendizaje decisional explícito produce mejores decisiones en situaciones de alta complejidad, a través de decisiones deliberadas (Raab, 2003; Raab y Johnson, 2007). Este modelo predice que la transferencia desde el conocimiento de las posibilidades de acción que pueden estar asociadas a cada situación de juego es efectiva solamente en situaciones en las que la misma estructura de regla “si-entonces” está presente (Raab, 2007). Con relación al tenis, en base a lo expuesto anteriormente, nos planteamos la necesidad de definir el uso de decisiones intuitivas o deliberadas en distintas situaciones de juego, donde, por ejemplo, aquellas situaciones con mayor déficit temporal (e.g., resto de un servicio y situación de juego en la red) estarían asociadas a un proceso decisional más intuitivo, mientras que las situaciones con menor déficit temporal (e.g., intercambio de golpes desde el fondo de la pista) estarían más ligadas a un proceso decisional más deliberado.

Entre los modelos de enseñanza que buscan la mejora de la toma de decisiones, encontramos aquellos que se fundamentan en el uso del video-feedback como elemento de entrenamiento decisional, utilizado en muchas ocasiones para el auto-análisis del rendimiento del deportista (Vickers, 2007) y a través de este video-feedback se consigue la mejora del conocimiento procedimental y de la toma de decisiones. Algunas de las condiciones indispensables para que este video-feedback sea efectivo plantean la necesidad de que sea presentado e interpretado con la ayuda de una persona que posee conocimiento, y que este supervisor dirija la atención hacia

señales concretas, y además estos procesos deben llevarse a cabo por un periodo superior a 5 semanas (Vickers, 2007).

En situaciones deportivas, y con el objetivo específico de la mejora de la capacidad decisional de los deportistas en situación real de juego encontramos estudios que han combinado el uso de video-feedback junto con la supervisión reflexiva (*Mentoring Thought Reflection*, Cushion, Armour, y Jones, 2003), dando lugar a programas de supervisión reflexiva sobre el comportamiento táctico y decisional de los deportistas que han conseguido mejorar el conocimiento procedimental y el proceso de toma de decisiones (García-González, 2011; Moreno, Moreno, Ureña, Iglesias, y Del Villar, 2008).

Específicamente en tenis, el estudio de García-González (2011), muestra cómo a través de un protocolo de supervisión reflexiva sobre tres aciertos y tres errores a nivel decisional del propio jugador, durante 10 sesiones, estos jugadores de tenis en categorías de formación mejoran no sólo el conocimiento procedimental utilizado durante las acciones de juego, sino que se traduce también en una mejora de la toma de decisiones y del rendimiento, en situación real de juego. Estas aplicaciones de programas o protocolos de supervisión reflexiva donde el video-feedback se orienta a aspectos tácticos y decisionales, cumplen además con la necesidad de usar situaciones de gran fidelidad con la realidad, y de esta forma reproducir configuraciones que se encuentran en una situación real (Farrow y Raab, 2008).

5.4. Propuesta de un nuevo programa de entrenamiento de la toma de decisiones en el tenis

En el juego del tenis, la decisión sobre cuál es la acción que debe ser realizada para conseguir el objetivo, aunque pueda formar parte del plan estratégico de los jugadores, no es posible que sea determinada previamente. Presionar al adversario a través del ritmo de juego desde el fondo de la pista, o intentar subir a la red, podrá ser una estrategia que el jugador define para el juego, pero es la relación que se establece en el momento, con las acciones del adversario y el contexto, lo que hace emerger su posibilidad de actuar, su solución *táctica* (Araújo y Carvalho, 2009). En el flujo de interacciones que se establece con el adversario, las soluciones tácticas y las acciones que los jugadores adoptan en el juego evolucionan a lo largo del tiempo y dependen

del momento adecuado en que pueden ocurrir (Araújo, Davids, Bennett, y Button, 2004). La toma de decisiones emerge de un proceso activo y continuo de búsqueda y exploración de información para actuar, y de actuar para detectar mejor información, con el fin de lograr un determinado objetivo (Araújo, Davids, y Hristovski, 2006). Es decir, un proceso continuo que se expresa en la acción y que persigue la exploración activa del ambiente y la detección de las posibilidades de acción (*affordances*) (ver Araújo, 2009).

De acuerdo con los supuestos teóricos de la dinámica ecológica (Araújo y Carvalho, 2009; Araújo et al., 2009), el entrenamiento de la toma de decisiones deberá basarse en la realización de situaciones-problema que contengan información suficiente para que los jugadores descubran las acciones que son más relevantes (ver perspectiva basada en los *constreñimientos*, Davids et al., 2008). Atendiendo a que cuanto mayor sea la variabilidad de las condiciones de práctica, mayor será la incertidumbre que viene con él, el entrenamiento deberá ser un proceso de *constreñir* y canalizar los grados de libertad del comportamiento con el fin de alcanzar un estado final deseado (el objetivo). La manipulación de los *constreñimientos* de la tarea permitirá que una determinada fuente de información sea enfatizada y que surja la acción o la combinación de acciones que posibilitan lograr el objetivo definido (Araújo, 2009; Araújo y Davids, 2009; Araújo et al., 2009; Davids, Button, y Bennett, 2008; Passos, Araújo, Davids, y Shuttleworth, 2008),

Existen muy pocos estudios que evalúen la eficacia del entrenamiento de la toma de decisiones basado en el enfoque ecológico. Los dos estudios que conocemos en tenis (Machado, Araújo, y Godinho, 2005; Passos, Batalau, y Gonçalves, 2006), comparan los efectos de un programa más tradicional, centrado en la corrección de los aspectos técnicos de acuerdo con un modelo ideal de ejecución, con los de un entrenamiento basado en la manipulación de *constreñimientos*, donde los jugadores orientan su atención hacia el objetivo de las acciones (velocidad y colocación) de forma que encuentren una solución eficaz. Aunque no hayan sido registradas diferencias significativas entre los dos métodos en términos generales, el entrenamiento basado en la manipulación de *constreñimientos* presentó resultados superiores a nivel de ejecución técnica, sobre todo en situaciones de juego reales. La eficacia de los métodos parece depender de las características de la tarea y de la cantidad de

incertidumbre existente, de forma que cuanto mayor sea la incertidumbre mayor será la ventaja del enfoque ecológico (acciones que dependan de la acción del adversario y en situación real de juego). Sin embargo, para cuantificar los efectos de un programa de entrenamiento construido en base a la manipulación de *constreñimientos*, es necesario que los estudios se basen en propuestas de entrenamiento fundamentadas y que contemplen el efecto controlado de los diferentes tipos de *constreñimientos* existentes (Newell, 1986). En este sentido, en base a la perspectiva basada en los *constreñimientos* proponemos que el entrenamiento, de acuerdo a la estructura originalmente propuesta por Araújo y Volossovitch (2005), contemple la manipulación de los *constreñimientos* relativos a la tarea, la intervención directa sobre el jugador y el ambiente. Pasamos a presentar los aspectos que consideramos esenciales en cada una de estas categorías de *constreñimientos*.

5.4.1. Manipular los constreñimientos de la tarea

Los *constreñimientos* de la tarea son, probablemente, la categoría de *constreñimientos* más relevante para ser manipulada en el proceso de entrenamiento. El objetivo de la tarea normalmente es establecido en una o más dimensiones (e.g., espacio y tiempo), si bien la forma de conseguir ese objetivo puede ser condicionada por las reglas de juego o por las reglas específicas de la tarea que se presenta (e.g., mantener cinco golpes “neutros” de fondo antes de atacar; punto ganado en la red vale doble; solamente valen los puntos donde la ruptura de equilibrio sea creada con una aceleración/desaceleración o con una apertura de ángulo). Hay que tener en cuenta que la intervención del entrenador puede modificar los *constreñimientos* de la tarea, siendo por tanto su propia intervención constitutiva de la dinámica de la tarea. Hacia una mayor adaptación a la tarea, el propio feedback que es dado sobre el rendimiento del deportista puede ser integrado en las propiedades de la sub-tarea o de las condiciones ambientales de la práctica. En el proceso de entrenamiento se pueden usar otras estrategias como: 1) amplificar las fuentes de información presentes en el contexto (e.g., colocar un brazalete llamativo en el brazo de la raqueta del tenista que sirve, para que el jugador que resta el servicio focalice más su atención en esa fuente informacional para anticipar mejor la dirección de la bola); 2) realizar gestos y todo un abanico de acciones no verbales que un entrenador puede utilizar (e.g.,

señales combinadas con los jugadores que pueden indicar el lado a explorar en el adversario, la altura o la profundidad que debe imprimir a la bola, o si debe entrar o salir más del campo); 3) utilizar lenguaje verbal, correspondiente al llamado feedback aumentado y al método interrogativo (e.g., decir si la acción fue o no realizada de acuerdo con el objetivo marcado, cuestionar al jugador sobre el sentido o la intención de la acción que realizó). Un supuesto esencial es que las informaciones no sean recibidas pasivamente por los jugadores, sino que antes deben estar disponibles en el contexto para que se puedan explorar, tal y como lo hacen durante el juego y la competición. Supongamos por ejemplo que un jugador presenta grandes dificultades en decidir cuándo subir a la red, incluso cuando aparentemente esa solución parece ser adecuada a la situación de juego, y en términos de habilidad motriz, este jugador consigue realizar las acciones técnicas que están implicadas en esa toma de decisiones. En términos de entrenamiento, una estrategia posible para que el jugador se decida más veces por esa solución táctica, sería manipular los *constreñimientos* a nivel de la tarea de modo que se cree una situación que “invite” a realizar ese comportamiento. Modificar las dimensiones del campo, disminuyendo la longitud de la red o el espacio a cubrir, puede facilitar la decisión de subir a la red, aumentando su probabilidad de éxito, haciendo que esa acción sea posible para el jugador. Estas alteraciones deben estar a escala de cada jugador (capacidades técnicas y físicas), de modo que los *constreñimientos* resultantes amplifiquen la ventaja del jugador que se aproxima a la red (ver este y otros ejemplos en Araújo y Carvalho, 2009).

Otro tipo de situaciones que pueden ser creadas a través de la manipulación de este tipo de *constreñimientos* es variar el tiempo que el jugador tiene para captar la información de la acción del oponente, de forma que se vuelva más sensible a la información relevante que está disponible. Un ejercicio que puede crearse para mejorar esta habilidad, aplicado por ejemplo a la respuesta del servicio, sería desarrollar una situación estándar de servicio y respuesta en pista, donde el entrenador se situaría por detrás del jugador que responde para poder ver las dos acciones simultáneamente, y definir cuándo el jugador puede mirar hacia el jugador al servicio. Es decir, el jugador que responde miraría hacia el suelo, y a la señal del entrenador, definida de acuerdo con la fase del movimiento que el servidor va a realizar (e.g., inicio del movimiento de preparación o “backswing”, salida de la bola de

la mano de lanzamiento, final del movimiento de “forwardswing” - antes del contacto), mirará hacia el servidor e intentará responder. Para que la situación del ejercicio sea realmente representativa de la competición deberá colocarse un objetivo asociado a la respuesta, por ejemplo, desplazar al adversario (hacia atrás o lateralmente) o responder rápido y anticiparse al oponente. Esta posibilidad de *constreñir* a través del tiempo disponible para la percepción del servicio (tiempo de presentación de la señal) puede volver al jugador más sensible a la información que es relevante para el desarrollo de una respuesta adecuada, dado que está forzado a establecer estrategias de exploración en el tiempo disponible. En este tipo de situaciones de entrenamiento, al contrario de las situaciones de entrenamiento en pista presentadas anteriormente (e.g., Farrow et al., 1998; Williams et al., 2002; Williams et al., 2004), existe un mayor acoplamiento entre la información y el movimiento posterior (percepción-acción), lo que es una característica esencial de las situaciones de competición en tenis. Es decir, el jugador actúa para percibir mejor la información que le permite actuar de forma adecuada.

5.4.2. Intervenir directamente en el jugador

El efecto de la manipulación de los diferentes *constreñimientos* es muy sensible a las características específicas de cada jugador. De este modo es necesario considerar la intervención directamente en el jugador, a través de la selección, transformación y presentación de las fuentes de información, *dentro y fuera de la tarea representativa*, como exponemos a continuación.

La dificultad de una tarea depende también de la capacidad para realizarla. Para que una tarea sea adaptada a las características propias de cada jugador, es necesario contemplar dos sub-categorías diferentes de *constreñimientos* relativos al individuo: 1) *constreñimientos estructurales*, que contemplan la morfología, la composición corporal, el nivel de pericia en una tarea concreta, es decir, aspectos del individuo que se mantienen relativamente constantes a lo largo del tiempo; y 2) *constreñimientos funcionales*, que hacen referencia, entre otros, a los pensamientos, las emociones, la motivación, la fatiga o la concentración, que son estados variables de un momento a otro (Araújo y Volossovitch, 2005). Como es fácil percibir la manipulación de estos *constreñimientos*, considerados dentro de una tarea

representativa, puede ser fácilmente combinada su manipulación con la de los *constreñimientos* de la tarea y del ambiente (que presentamos más adelante).

Los *constreñimientos* relativos al individuo fuera de una tarea representativa, han sido muy utilizados en la perspectiva cognitivista y se refieren principalmente a la intervención dirigida al desarrollo de la comprensión estratégica del juego a través de procesos indirectos. Se ha utilizado habitualmente el visionado de secuencias de juego o la simulación de situaciones de juego para: revelar las fuentes críticas de información (e.g., la posición del adversario, posición de los apoyos en “apoyo abierto” o “apoyo semiabierto”, la amplitud del “backswing”, el lanzamiento de la bola en el servicio); para percibir en una determinada situación de juego cuál será la respuesta probable del adversario (observar el comportamiento del rival en situaciones semejantes, percibir el espacio que debe cubrir y atacar), o incluso; para conocer otras decisiones para contrarrestar las acciones del rival (decisiones que se revelan como eficaces con otros jugadores) (Araújo y Carvalho, 2007). También pueden ser utilizados otros medios disponibles como la imaginación (imaginar situaciones posibles que pueden suceder en la próxima competición), el establecimiento de rutinas de concentración y la discusión de casos. Es importante destacar que la manipulación de estos *constreñimientos* (fuera de una tarea representativa) no está directamente involucrada en el proceso de toma de decisiones, ya que no interviene en la conducción perceptiva de la acción (ver Van der Kamp, Rivas, van Doorn, y Savelsbergh, 2008). Este tipo de intervención, considerada meta-decisional, de acuerdo con la opinión de Araújo et al., (2009), es particularmente útil en jugadores más reflexivos y con gran capacidad de verbalización. Sin embargo, como pudimos verificar en algunos estudios presentados en la perspectiva anterior, es necesario realizar un entrenamiento adicional para transformar la capacidad verbal en rendimiento motriz, de modo que la mejora del rendimiento esté basada en la ejecución motriz de la acción y no solamente en la mejora de la capacidad de hacer juicios perceptivos (actuar para descubrir la información que guía la acción).

5.4.3. Usar los *constreñimientos* del ambiente

El entrenamiento de la toma de decisiones debe considerar también el efecto de factores con la presencia y el comportamiento del público o la presencia de

familiares (*constreñimientos* sociales), las condiciones del recinto (e.g., temperatura o luminosidad), o incluso el tipo de competición desde el punto de vista organizativo (e.g., torneo regional, campeonato nacional), en el rendimiento de los jugadores. Aunque la manipulación de estos factores sea más difícil, es importante considerar su efecto en el rendimiento y en el entrenamiento. Un ambiente lluvioso (húmedo) en una pista de tierra batida, por ejemplo, es un *constreñimiento* que puede influenciar de una forma determinante las decisiones en el juego. La bola se convierte en más pesada y lenta con la humedad, convierte los puntos más largos, y desequilibrar al adversario es más difícil. Este *constreñimiento*, al alterar el valor informativo de determinadas fuentes de información, condiciona la toma de decisiones de los jugadores, y en este sentido puede ser utilizado en el entrenamiento para facilitar o dificultar determinadas situaciones de juego que quieran mejorarse (e.g., la posición para el *passing* deberá estar bien apoyada y por detrás de la bola, el golpe de aproximación a la red deberá ser bien profundo y colocado, ya que sino el adversario tiene mucho tiempo para hacer el *passing*, y no valdría la pena asumir tanto riesgo).

Por último, es importante considerar la influencia del ambiente de entrenamiento en el rendimiento de los deportistas y en la toma de decisiones. El entrenador a través de su intervención puede crear dos tipos de ambientes: *ambiente orientado al ego* del jugador y *ambiente orientado hacia la maestría* del jugador (Roberts, Treasure, y Conroy, 2007). El primero, más dirigido a la exaltación de la competitividad, lleva al jugador a comparar su rendimiento con el de otros, a intentar ganar más puntos que sus compañeros, a ser el mejor. Este ambiente invita al jugador a ser más prudente y a utilizar las soluciones que domina bien donde el riesgo a fallar es menor. Por otro lado, el *ambiente orientado hacia la maestría*, apela más a la motivación intrínseca del jugador y le incentiva a trabajar de acuerdo con sus objetivos y necesidades específicas, lo que le llevará a decidirse por soluciones que precisan todavía de ser perfeccionadas o incluso a crear soluciones nuevas.

5.5. Recomendaciones para investigaciones futuras

El análisis de la literatura que hemos efectuado nos permite identificar algunos aspectos que juzgamos que son importantes a considerar en futuros estudios en el ámbito del entrenamiento de la toma de decisiones y que pasamos a presentar:

a) Garantizar que las situaciones de entrenamiento creadas sean realmente representativas del juego, para lo cual es necesario identificar cuáles son las condiciones de práctica que confieren un carácter específico a la misma y comprobar los efectos de esa práctica en situaciones de competición;

b) Estudiar el efecto de la estructura de la práctica, es decir, cuál debe ser la duración, la frecuencia y la regularidad de las sesiones y de los procesos de entrenamiento para que existan adaptaciones significativas y estables (utilizar medidas de retención y valorar el estudio de los efectos a largo plazo mediante estudios longitudinales);

c) Profundizar en los efectos de la variabilidad de la práctica, por ejemplo, verificar si en las técnicas de oclusión existe alguna ventaja en progresar de una mayor a una menor presión temporal o a la inversa;

d) Controlar los efectos asociados a la instrucción técnica que es proporcionada y la práctica que se realiza fuera de las tareas representativas (e.g., grupos placebo);

e) Investigar el efecto individual y combinado de las técnicas de pre-índices y de oclusión visual y la adquisición de conocimiento sobre la tarea (e.g., parada de video e instrucción sobre las pistas informativas), con y sin posibilidad de actuar (en 2D y 3D);

f) Evaluar el efecto de los programas de entrenamiento a través de situaciones de transferencia que sean representativas de la competición (e.g., a través de la frecuencia y de la eficacia de la solución deseada en situaciones de juego condicionado).

Para finalizar, nos gustaría sugerir la realización de estudios que evalúen de un modo sistematizado los efectos de entrenamiento de la toma de decisiones basado en la manipulación de *constreñimientos*, pudiendo ser esta una forma de probar teorías de la toma de decisiones.

5.6. Referencias

- Abernethy, B. (1990). Expertise, visual search, and information pick-up in squash. *Perception*, 19, 63-77.
- Abernethy, B. y Russel, D. G. (1987). Expertise-novice differences in an applied selective attention task. *Journal of Sport Psychology*, 9, 326-345.

- Abernethy, B., Wann, J. y Parks, S. (1998). Training perceptual motor skills for sport. In B. Elliott (Ed.), *Training insport: Applying sport sciences* (pp. 1-55). London: Wiley Publications.
- Abernethy, B. y Wollstein, J. (1989). Improving anticipation in racquet sports. *Sports Coach*, 12, 15-18.
- Araújo, D. (2009). O desenvolvimento da competência táctica no desporto: o papel dos constrangimentos no comportamento decisional. . *Motriz. Revista de Educação Física*, 15(3), 537-540.
- Araújo, D. y Carvalho, J. (2009). Tomada de decisão também se treina: uma aplicação no tênis. In R. B. A. Machado (Ed.), *O treinador e a psicologia do esporte* (pp. 115-140). São Paulo: Editora Atheneu.
- Araújo, D. y Davids, K. (2009). Ecological approaches to cognition and action in sport and exercise: Ask not only what you do, but where you do it. *International Journal of Sport Psychology*, 40(1), 5-37.
- Araújo, D., Davids, K., Bennett, S. y Button, C. (2004). Emergence of sport skills under constraints. In A. M. Williams y N. J. Hodges (Eds.), *Skill acquisition in sport: Research, theory and practice* (pp. 409–433). London: Routledge, Taylor y Francis.
- Araújo, D., Davids, K., Chow, J. Y. y Passos, P. (2009). The development of decision making skill in sport: an ecological dynamics perspective. In D. Araújo, H. Ripoll y M. Raab (Eds.), *Perspectives on cognition and action in sport* (pp. 157-170). New York: Nova Science Publishers.
- Araújo, D., Davids, K. y Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653-676.
- Araújo, D. y Volossovitch, A. (2005). Fundamentos para o treino da tomada de decisão: uma aplicação ao Andebol In D. Araújo (Ed.), *O Contexto da decisão: a acção táctica no desporto* (pp. 75-97). Lisboa: Edições Visão e Contextos.
- Bunker, D. y Thorpe, R. (1982). A model for the teaching of games in the secondary school. *Bulletin of Physical Education*, 10, 9-16.
- Butler, J. (1997). How would Socrates teach games? A construtivist approach. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 68(9), 42-47.

- Cauraugh, J. H. y Janelle, C. M. (2002). Visual search and cue utilization in racket sports. In K. Davids, G. Salvendy, S. J. Bennett y J. V. d. Kamp (Eds.), *Interceptive actions in sport: Information and movement* (pp. 64-89). London: Routledge.
- Cushion, C. J., Armour, K. M. y Jones, R. L. (2003). Coach education and continuing profesional development: Experience and Learning coach. *Quest*, 55, 215-230.
- Davids, K., Button, C., Araújo, D., Renshaw, I. y Hristovski, R. (2006). Movement models from sports provide representative task constraints for studying adaptive behavior in human motor systems. *Adaptive Behavior*, 14, 73-95.
- Davids, K., Button, C. y Bennett, S. (Eds.). (2008). *Dynamics of skill acquisition: a constraints-led approach*. Champaign, IL: Human Kinetics
- Ericsson, K. A. y Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102, 211-245.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T. y Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in acquisition of expert performance *Psychological Review*, 100, 363-406.
- Ericsson, K. A. y Oliver, W. (1988). Methodology for laboratory research on thinking: Task selection, collection of observations and data analysis. In R. J. Stenberg y E. E. Smith (Eds.), *The psychology of human thought* (pp. 392-428). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A. y Staszewski, J. (1989). Skilled memory and expertise: Mechanisms of exceptional performance. In D. Klahr y K. Kotovsky (Eds.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*. (pp. 235-267). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Farrow, D. y Abernethy, B. (2002). Can anticipatory skills be learned through implicit video-based perceptual training? *Journal of Sports Sciences*, 20, 471-485.
- Farrow, D., Chivers, P., Hardingham, C. y Sachse, S. (1998). The effect of video-based perceptual training on tennis return of serve. *International Journal of Sport Psychology*, 30, 294-300.
- Farrow, D. y Raab, M. (2008). A recipe for expert decision making. In D. Farrow, J. Baker y C. MacMahon (Eds.), *Developing sport expertise: Researchers and coaches put theory into practice* (pp. 137-158). London: Routledge.

- García-González, L. (2011). *Efecto de un protocolo supervisión reflexiva sobre las variables decisionales en jugadores de tenis (Unpublished doctoral dissertation)*. Universidad de Extremadura, Cáceres.
- Goodale, M. A. y Milner, A. D. (1992). separate visual pathways for perception and action. . *Trends in Neuroscience*, 15, 20-25.
- Goulet, C., Bard, C. y Fleury, M. (1989). Expertise differences in preparing to return a tennis serve: A visual information processing approach. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 11(4), 382-398.
- Gréhaigne, J. F., Godbout, P. y Bouthier, D. (1999). The foundations of tactics and strategy in team sports. *Journal of Teaching in Physical Education*, 18, 159-174.
- Griffin, L., Brooker, R. y Patton, K. (2005). Working towards legitimacy: two decades of teaching games for understanding. *Physical Education and Sport Pedadogy*, 10, 213-223.
- Janelle, C. M., Champenoy, J. D., Coombes, S. A. y Mousseau, M. B. (2003). Mechanisms of attentional cueing observational learning to facilitate motor skill acquisition. *Journal of Sports Sciences*, 21, 825-838.
- Luis, V. (2008). *Influencia del entrenamiento perceptivo, basado en la anticipation, sobre el comportamiento visual y la respuesta de reacción aplicado al tenis (Unpublished doctoral dissertation)*. Universida de Extremadura, Cáceres.
- Machado, N., Araújo, D. y Godinho, M. (2005). A acção táctica no ténis: implicações metodológicas. In D. Araújo (Ed.), *O Contexto da Decisão: A Acção Táctica no Desporto*. (pp. 261-276). Lisboa: Visão e Contextos, Lda.
- MacMahon, C. y McPherson, S. L. (2009). Knowledge base as a mechanism for perceptual-cognitive tasks: Skills is in the details! *International Journal of Sport Psychology*, 40, 565-579.
- McPherson, S. L. y French, K. (1991). Changes in cognitive strategy and motor skill in tennis. *Journal of Sport and Exercise Science*, 13, 26-41.
- Mitchell, S. A., Griffin, L. y Oslin, J. L. (1995). An analysis of two instructional approaches to teaching invasion games. . *Research Quarterly for Exercise and Sport, March Supplement*, A-65-66.
- Mitchell, S. A. y Oslin, J. L. (1999). An investigation of tactical transfer in net games. *European Journal for Cognitive Psychology*, 4, 162-172.

- Moreno, M. P., Moreno, A., Ureña, A., Iglesias, D. y Del Villar, F. (2008). Application of mentoring through reflection in female setters of the Spanish national volleyball team. A case study. *International Journal of Sport Psychology*, 39, 59-76.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the Development of Coordination. In M. Wade y H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 341-360). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Oslin, J. L., Mitchell, S. A. y Griffin, L. (1998). The game Performance Assessment Instrument (GPAI): Development and Preliminary Validation. *Journal of Teaching in Physical Education*, 17(2), 231-243.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K. y Shuttleworth, R. (2008). Manipulating constraints to train decision making in Rugby Union. *International Journal of Sport Science and Coaching*, 3(1), 365-376.
- Passos, P., Batalau, R. y Gonçalves, P. (2006). Comparação entre as abordagens ecológica e cognitivista para o treino da tomada de decisão no Ténis e no Rugby. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 6(3), 305-317.
- Raab, M. (2003). Implicit and explicit learning of decision making in sports is affected by complexity of situation. *International Journal of Sport Psychology*, 34, 273-288.
- Raab, M. (2007). Think SMART, not hard-a review of teaching decision making in sport from ecological rationality perspective. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 12(1), 1-22.
- Raab, M. y Johnson, M. (2007). Implicit learning as a means to intuitive decision making in sports. In H. Plessner, T. Betsch y C. Betsch (Eds.), *Intuition in Judgment and Decision Making*. London: Routledge, Taylor y Francis.
- Roberts, G., Treasure, D. y Conroy, D. (2007). Understanding the dynamics of motivation in sport and physical activity: an achievement goal interpretation. In G. Tenenbaum y R. Eklund (Eds.), *Handbook of Sport Psychology* (3rd ed., pp. 3-30). Hoboken, NJ: John Wiley.
- Rovegno, I., Nevett, M., Brock, S. y Babiarz, M. (2001). Teaching an learning basic invasion-game tactics in 4th grade: A descriptive study from situated and

- constraints theoretical perspectives. *Journal of Teaching in Physical Education*, 20, 370-388.
- Salvelsbergh, G. P., Williams, A. M., Van der Kamp, J. y Ward, P. (2002). Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sports Sciences*, 20, 279-287.
- Singer, R. N., Cauraugh, J. H., Chen, D., Steinberg, G. M. y Frehlich, S. G. (1996). Visual search, anticipation, and reactive comparison between highly-skilled and beginning tennis players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 8, 9-26.
- Singer, R. N., Cauraugh, J. H., Chen, D., Steinberg, G. M., Frehlich, S. G. y Wang, L. (1994). Training mental quickness in beginning/intermediate tennis players. *The Sport Psychologist*, 8, 305-318.
- Singer, R. N., Williams, A. M., Frehlich, S. G., Janelle, C. M., Radlo, S. J., Barba, D. A., et al. (1998). New frontiers in visual search: an exploratory study in live tennis situation. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(3), 290-296.
- Turner, A. P. y Martinek, T. J. (1999). An investigation into teaching games for understanding: Effects on skill, knowledge, and game play. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70, 286-296.
- Unierzyski, P. y Crespo, M. (2007). Review of modern teaching methods for tennis. *International Journal of Sport Science*, 3(7), 1-10.
- Van der Kamp, J., Rivas, F., van Doorn, H. y Savelsbergh, G. (2008). Ventral and dorsal contributions in visual anticipation in fast ball sports. *International Journal of Sport Psychology*, 39, 100-130.
- Vickers, J. N. (2007). *Perception, Cognition, and Decision Training. The Quiet Eye in Action*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Ward, P., Farrow, D. W., Harris, K. R., Williams, A. M., Eccles, D. W. y Ericsson, K. A. (2008). Training Perceptual-Cognitive Skills: Can Sport Psychology Research Inform Military Decision Training? *Military Psychology*, 20(Suppl. 1), 71-102.
- Ward, P., Williams, A. M. y Hancock, P. A. (2006). Simulation for performance and training. In K. A. Ericsson, N. Charness, R. Hoffman y P. Feltovich (Eds.), *Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 243-262). Cambridge: Cambridge University Press.

- Williams, A. M. y Ericsson, K. A. (2005). Some considerations when applying the expert performance approach in sport. *Human Movement Science*, 24, 283-307.
- Williams, A. M. y Grant, A. (1999). Training perceptual skill in sport. The dynamical information underpinning anticipation skill. *Human Movement Science*, 28, 362-370.
- Williams, A. M. y Ward, P. (2001). Developing perceptual skill in sport: The need for evidence-based practice. In A. Papaioannou, M. Goudas y Y. Theodorakis (Eds.), *Proceedings of the 10th World Congress on Sport Psychology: Vol. 3. In the dawn of the new millennium*. Skiathos, Hellas: International Society of Sport Psychology.
- Williams, A. M. y Ward, P. (2003). Perceptual expertise in sport: Development. In A. Ericsson y J. Starkes (Eds.), *Expert performance in sport: Advances in research on sport expertise*. Champaign, IL.: Human Kinetics.
- Williams, A. M., Ward, P. y Chapman, C. (2003). Training perceptual skill in field hockey: Is there transfer from the laboratory to the field? . *Quarterly for Exercise and Sport*, 74(1), 98-104.
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M. y Smeeton, N. J. (2002). Perceptual skill in real-world task: Training, instruction, and transfer. *Journal of experimental Psychology. Applied*, 8(4), 259-270.
- Williams, A. M., Ward, P., Smeeton, N. J. y Allen, D. (2004). Developing anticipation skills in tennis using on-court instruction: perception and action. *Journal of Applied Sport Psychology*, 16(4), 350-360.

Capítulo 6

Discussão Geral

6. Discussão Geral

O presente programa de investigação procurou centrar-se no estudo da dinâmica de relações espaço-temporais que se estabelecem entre os jogadores de ténis no jogo. Alicerçados no enquadramento teórico da dinâmica ecológica (Araújo, Davids, & Hristovski, 2006) procurámos perceber como os jogadores profissionais coordenam as suas ações em situação de competição com base na informação relativa aos seus deslocamentos e posicionamento no espaço de jogo.

Partimos de uma revisão crítica dos estudos efetuados no âmbito da análise do desempenho desportivo onde propusemos um modelo conceptual que permitiu integrar e organizar as diferentes abordagens consideradas (capítulo 2). Este modelo permitiu enquadrar de forma mais clara a bibliografia existente em análise de performance no ténis, bem como os métodos existentes para o desenvolvimento dos estudos que realizámos sobre desempenho desportivo no ténis. Em seguida, apresentámos dois estudos (capítulos 3 e 4), recorrendo à análise de vídeo de jogadas a partir do fundo do *court*, cujo enfoque recaiu sobre a análise de padrões de coordenação espaço-temporal, em função da posição dos jogadores no *court*. A modelação destas situações de jogo permitiu-nos quantificar a movimentação dos jogadores em relação a dois referenciais espaciais considerados chave: a rede e a linha média do court. Por último, propusemos uma aplicação do racional teórico que fundamenta a dinâmica ecológica ao treino da tomada decisão no ténis (capítulo 5). Neste capítulo final discutimos, de forma sumária, e de acordo com os pressupostos teóricos da dinâmica ecológica, os principais resultados obtidos no conjunto dos estudos e as implicações para a investigação e para o treino.

6.1. Síntese dos resultados obtidos

No capítulo 2, propusemos um modelo conceptual, designado “modelo eco-físico”, que integra as diferentes perspetivas teóricas que refletem a tendência que tem caracterizado a investigação no âmbito da análise do desempenho desportivo e, em particular, da análise do jogo. Consideramos que um dos principais méritos do modelo proposto é oferecer uma visão unificadora do desempenho desportivo, relacionando diferentes perspetivas e problemáticas que, devido à sua disparidade, são tradicionalmente analisadas de forma independente. Realçamos ainda neste

trabalho a necessidade de conceber e operacionalizar uma *teoria do desempenho desportivo* que explique o comportamento individual e coletivo dos desportistas.

No capítulo 3, analisámos as tendências de coordenação que emergem da interação entre os jogadores em jogadas a partir do fundo do *court* em situação de competição no ténis. Neste estudo desenvolvemos um parâmetro que designámos *goal-directed displacement index* (GDD Index). Este parâmetro avalia a posição dos jogadores em relação a dois referenciais espaciais em simultâneo: centro da rede e linha média do *court*. Ao multiplicar a distância ao centro da rede pela distância à linha média do *court* estabelece-se a relação entre os deslocamentos laterais e longitudinais dos jogadores. Atendendo à geometria do *court* e à natureza do jogo, a magnitude da variação para cada uma destas duas distâncias nas jogadas de fundo do *court* é diferente (distância da rede ao fundo do *court* é cerca de 11.88m e da linha média do *court* à linha lateral é 4.12m), dado a amplitude dos deslocamentos laterais ser maior do que a dos longitudinais (Palut & Zanone, 2005). Para compensar esta relação, o índice proposto neste estudo atribui uma maior ponderação aos deslocamentos laterais, i.e., a distância ao centro da rede, sempre que o jogador não está sobre a linha média do *court*, também contém a componente lateral do deslocamento. A observação dos valores do GDD índice de cada jogador ao longo do tempo permitiu perceber como é que os seus comportamentos emergem das relações espaço-temporais durante as jogadas. De um maneira geral, os valores de GDD Index afastam-se e aproximam-se de zero quando os jogadores se deslocam para realizar o batimento ou para recuperar a sua posição no *court*, respetivamente. Quando um dos jogadores é forçado a afastar-se do centro da rede e/ou linha média do *court* para além de uma determinada distância, o modo de coordenação torna-se instável. Os resultados mostraram que as relações funcionais estabelecidas entre os jogadores em competição podem ser expressas através da análise dos seus movimentos de aproximação e afastamento do centro do *court*. Através da observação do comportamento do GDD Index ao longo do tempo, foi possível identificar dois tipos de comportamento relacional, típicos do jogo de fundo do *court*: i) *frente-a-frente* (i.e., um jogador do lado direito e o outro do lado esquerdo do respetivo *court*), e ii) *cruzado* (i.e., os dois jogadores na lado direito ou do lado esquerdo do *court*). Esta informação enriquece a interpretação dos valores da fase relativa observados nos estudos de Palut e Zanone

(2005) e Lames (2006). Para além de conhecermos o sentido em que os jogadores se deslocam, podemos também identificar movimentos de afastamento ou aproximação ao centro (dos referenciais definidos). Se os jogadores se deslocarem no mesmo sentido (em fase) ou em sentidos contrários (anti-fase) num padrão de interação cruzado tem um significado tático no jogo muito diferente do que se estiverem a jogar frente-a-frente. Ao relacionarmos os valores do GDD Index dos dois jogadores com indicação da sua posição no espaço e com o momento em que acontecem os batimentos e os ressaltos da bola identificámos dois tipos de situação de rutura características das jogadas de fundo do *court*: abertura de ângulos e variação paralela. A *abertura de ângulos* corresponde à situação em que um jogador é deslocado lateralmente e a *variação paralela* sucede quando um jogador tem de se deslocar de um lado do campo para o outro como resultado da colocação de uma bola paralela à linha lateral. Os resultados evidenciaram que a análise dos deslocamentos dos jogadores permitem descrever quantitativamente o modo como surgem os estados estáveis e instáveis de coordenação interpessoal no jogo de ténis (ordem e desordem). Em conformidade com o que Palut e Zanone (2005) e Lames (2006) mostraram através da fase relativa, nestes estudos foram identificadas situações de transição que levaram a que um dos jogadores ganhasse o ponto (ordem-desordem) e situações de transição que apesar haver alteração no estado do sistema, foi possível surgir um novo modo estável de coordenação interpessoal (ordem-ordem). Um padrão estável de coordenação interpessoal pode alterar-se, devido ao efeito de um constrangimento espaço-temporal e em seguida regressar à estabilidade ou manter-se instável (Kelso & Engstrøm, 2006). A possibilidade de relacionar o modo como se coordenam os deslocamentos dos jogadores com o local onde ocorrem no espaço de jogo e em relação aos batimentos que são efetuados, representa um contributo importante para a compreensão do desempenho dos jogadores e da dinâmica do jogo de ténis. Permite perceber melhor a influência do posicionamento dos jogadores no *court* na emergência de padrões funcionais de comportamento (Araújo et al., 2004; Araújo et al., 2006).

Muito embora esta análise nos tenha possibilitado perceber como os jogadores coordenam as ações e como surgem as situações de rutura, não permitiu quantificar a vantagem posicional ao longo das jogadas. Tendo em consideração as lacunas

observadas no estudo anterior para a explicação do comportamento relacional entre jogadores, no capítulo 4 procurámos analisar a coordenação espaço-temporal entre os jogadores e quantificar a vantagem posicional em jogadas de fundo do *court*. Baseados nos resultados do estudo anterior, construímos um modelo que quantifica a vantagem posicional através da comparação de pesos que foram atribuídos ao posicionamento de cada jogador em relação a dois referenciais espaciais chave: a rede e a linha média do *court*. Importa referir que neste estudo o referencial espacial considerado na ponderação do peso atribuído ao posicionamento dos jogadores foi a rede e não o centro da rede como no estudo anterior. Esta alteração derivou do fato de o GDD Index resultar de uma multiplicação entre duas distâncias (entre os jogadores e linha média e o centro da rede), e não permitir expressar corretamente o posicionamento dos jogadores quando se encontravam alinhados com a linha média do *court*. Convém referir que durante o jogo os jogadores raramente ocupam esta posição de alinhamento com o centro do *court* de um modo que contrarie o sentido de que é expresso pelo GDD Index. No sentido, no estudo do capítulo 4, procurámos construir novo um modelo (PA Index) que através de uma outra relação de proporcionalidade entre a componente lateral (distância à linha média do *court*) e longitudinal (distância à rede) permitisse aperfeiçoar o modelo proposto no estudo anterior.

Os resultados mostraram que a vantagem posicional captada pelo modelo ao longo das jogadas descreve de forma consistente a dinâmica da interação entre os jogadores. Através desta quantificação da vantagem posicional foi possível identificar e explicar como ocorrem as situações de rutura que levaram à concretização do ponto. Verificámos que as tendências de coordenação se alteraram ao longo das jogadas de acordo com as posições relativas dos jogadores e que da instabilidade na interação podem emergir novos estados de organização do sistema. Normalmente, a perda de estabilidade no modo de coordenação interpessoal que leva à obtenção de ponto, pode resultar do efeito de um determinado batimento (*break shot*). Através da variação brusca da vantagem posicional (valor do PA Index) em momentos antes do final da jogada foi-nos possível identificar em que momento na interação esses batimentos ocorreram. Estes dados sugerem que as ações dos jogadores podem emergir da exploração de possibilidade de alteração das tendências de coordenação espaço-temporal com base na informação das suas posições relativas no *court*.

Sugerimos assim que a posição relativa dos jogadores no *court* constrange o desempenho da sua dinâmica competitiva. A quantificação da vantagem posicional através do posicionamento relativo dos jogadores no *court*, permite aceder aos processos de liderança na interação ao longo das jogadas no fundo do *court*. Consideramos que este passo representa um avanço importante e um contributo inovador ao nível da análise do desempenho no ténis.

O Programa de treino da tomada de decisão que apresentámos no capítulo 5 fundamentou-se teoricamente nos princípios teóricos da dinâmica ecológica e derivou da interpretação dos resultados dos estudos apresentados nos capítulos anteriores. Estes estudos reforçam a ideia que a dinâmica do processo de tomada de decisão e ação é guiado pela intenção dos jogadores (objetivo) sob influência de constrangimentos espaço-temporais específicos do contexto de competição (no caso o posicionamentos dos jogadores no *court*). Neste sentido, o programa sugerido sustenta-se na criação de situações-problema através da manipulação de constrangimentos. Destacamos sobretudo a manipulação de constrangimentos relacionados com a tarefa, com o próprio jogador e com o ambiente, de forma a enfatizar informação relevante para a exploração de soluções que permitem atingir um dado objetivo. O programa sugerido assenta no pressuposto de que este exercício de exploração ativa de diferentes possibilidades de ação permite que o indivíduo se torne cada vez mais sensível à informação relevante que está disponível no contexto.

6.2. Implicações Teóricas

Um pressuposto teórico que está implícito nesta tese é que o desempenho dos jogadores é continuamente constrangido pela informação que está disponível no contexto e que especifica a ação que permite atingir o objetivo (Araújo et al., 2006; Correia, Araújo, Craig, & Passos, 2011; Passos et al., 2008). De acordo com esta ideia, é assumido que as ações dos jogadores resultam de um processo de coordenação interpessoal que expressa a dinâmica do jogo. Em termos gerais, os resultados dos estudos realizados nesta tese reforçam a importância dos deslocamentos dos jogadores e do seu posicionamento no espaço de jogo para perceção e utilização das suas possibilidades de ação (*affordances*, Gibson, 1979) durante a competição.

O constrangimento espaço-temporal parece representar propriedades funcionais do envolvimento que contribuem diretamente para guiar as ações dos jogadores em competição (Correia et al., 2012; Travassos et al., 2012). Tal como observado em outros desportos, o posicionamento relativo dos jogadores face a referenciais fixos no *court*, poderá ser uma importante fonte de informação que guia as suas ações para a obtenção do ponto (Travassos, Araújo, Duarte, & McGarry, in press; Vilar, Araújo, Davids, & Travassos, 2012). Podemos supor que os jogadores se baseiam nesta informação para selecionarem de uma forma ativa a ação que, no seio de um conjunto de diferentes possibilidades, lhes permite concretizar o seu objetivo (Araújo et al., 2006; Davids, Button, Araújo, Renshaw, & Hristovski, 2006).

Um contributo importante deste programa de investigação é o de permitir interpretar a influência de variáveis relativas ao sistema jogador-adversário que explicam o sucesso (conquista de uma situação de vantagem ou de rutura sobre o adversário) numa situação de competição. A demonstração do efeito do posicionamento relativo no *court* sobre os padrões de coordenação interpessoal, possibilita conceber o uso desta informação de uma forma contínua e prospectiva sobre as ações durante o jogo (Fajen, Riley, & Turvey, 2009).

Para além deste aspeto, os jogadores para conquistarem uma situação de vantagem não focam a sua atenção exclusivamente na regulação das suas ações, precisam de considerar as possibilidades de ação dos adversários de acordo com a posição relativa no *court* de ambos (Cordovil & Barreiros, 2010; Marsh, Richardson, Baron, & Schmidt, 2006). O sucesso das ações dos jogadores não depende apenas da forma como os batimentos são realizados, mas sobretudo do impacto que estes podem ter no comportamento do adversário. A dinâmica ecológica ao explicar a influência da interação destes constrangimentos espaço-temporais na emergência dos comportamentos dos jogadores durante a competição assume-se como um referencial teórico importante para a análise da performance (Vilar, Araújo, Davids, & Button, 2012).

6.3. Considerações metodológicas

Nos estudos apresentados nos capítulos 3 e 4, pretendemos analisar o comportamento de jogadores de rendimento superior em contexto de competição.

Neste sentido, os dados utilizados referem-se a situações de jogo, sem exercermos qualquer controlo sobre as variáveis em causa. Este aspeto permitiu garantir que a informação relevante para as tomadas de decisão e para ação durante o jogo estava presente nas situações analisadas. Definimos, contudo, critérios que permitiram identificar as jogadas de fundo do *court* em análise (amostra), recorrendo à opinião de peritos (treinadores de ténis experientes) para efetuar tal seleção.

Nos estudos dos capítulos 3 e 4, desenvolvemos dois índices (modelos) que atribuem um valor à posição dos jogadores no *court*, de acordo com uma relação de proporcionalidade entre os deslocamentos laterais e longitudinais, estabelecida empiricamente com base na geometria do *court* e na natureza do jogo (e.g., distância média da rede e à linha lateral numa jogada de fundo do *court*, amplitude média dos deslocamentos laterais e longitudinais). No capítulo 3, definimos o valor da posição dos jogadores através da multiplicação da distâncias dos jogadores ao centro da rede à linha média do *court* (GDD Index), para descrevermos os seus deslocamentos. No capítulo 4, a posição dos jogadores foi definida através dos quadrados das distâncias dos jogadores à linha média do *court* e à rede, numa proporção de 2:1. A vantagem posicional foi quantificada através da diferença dos pesos atribuídos a cada um dos jogadores (PA Index). A validação facial destes modelos, bem como a identificação dos instantes dos batimentos que provocaram as situações de rutura, foram efetuados com base na opinião de peritos.

No capítulo 4, a utilização do método analítico *Recurrence Analysis Quantification* (RQA) mostrou ser um procedimento metodológico promissor na verificação do efeito de um evento crítico (break-shot) do jogo, no comportamento coletivo do sistema jogador-adversário-envolvimento. Referimo-nos em especial à análise da alteração na estrutura da variabilidade do comportamento. Contudo, consideramos que a utilização do método analítico *Recurrence Analysis Quantification* (RQA) para avaliar a dinâmica relacional ou o efeito “crítico” de determinados eventos no jogo (e.g., identificar situações de rutura), requer mais trabalho futuro.

6.4. Implicações Práticas

De um modo geral, esta tese mostra de que forma a dinâmica ecológica se pode constituir como um quadro de fundamentação teórica para a análise do

desempenho desportivo. Ao permitir descrever, quantificar, interpretar e explicar o desempenho dos jogadores face ao contexto de jogo, abre também uma via complementar de estudo do jogo, centrada na análise da dinâmica da interação que se estabelece entre jogador-adversário-envolvimento. Seguindo a orientação teórica da dinâmica ecológica, nesta tese procurámos analisar o comportamento coletivo dos jogadores de ténis com base na sua posição relativa no *court*. Desta orientação, bem como dos resultados observados nos estudos efetuados, decorrem algumas implicações práticas para a análise do desempenho e para treino no ténis. O estudo do comportamento dos jogadores através dos parâmetros GDD Index e PA Index (utilizados nos estudos dos capítulos 3 e 4) permitiu descrever e quantificar a dinâmica da interação (coordenação interpessoal) que se estabelece em competição. Mais concretamente e de acordo com as variáveis utilizadas nos estudos realizados neste programa de investigação, esta tese permite compreender melhor de que forma a posição no *court* pode constranger o modo como os jogadores decidem e agem. A análise da movimentação dos jogadores, através do GDD Index (estudo do capítulo 3), permite-nos perceber as relações funcionais que emergem quando os jogadores se encontram a jogar num padrão cruzado ou frente-a-frente. Esta informação, para além de ajudar a interpretar os valores da fase relativa dos estudos anteriores realizados no ténis (Lames, 2006; Palut & Zanone, 2005), pode constituir-se um valioso instrumento para o treino. Saber, por exemplo, que um determinado jogador, quando sujeito a uma variação paralela sobre o lado esquerdo, promove uma alteração no valor de GDD Index abaixo de um X, na grande maioria das vezes chega a tempo e consegue cruzar a bola e explorar o lado vazio do *court* adversário. Esta informação pode ser de grande utilidade e não é possível obter através da análise notacional ou sequencial do jogo (ver capítulo 2). Por outro lado a recolha sistemática dos valores de GDD Index associados a situações de rutura critério (e.g., quando um jogador perde ponto na sequência de uma abertura de ângulo ou de uma variação paralela), poderá permitir definir valores críticos de GDD Index para cada jogador nessas situações. Esta informação, combinada com a dos dados da análise notacional, pode ser extremamente útil na caracterização da forma de jogar dos jogadores, bem como no diagnóstico, prescrição e avaliação dos exercícios de treino (ver exemplos no estudo do capítulo 3).

A quantificação da vantagem posicional ao longo das jogadas através do PA Index (estudo do capítulo 4) complementa a informação fornecida pelo GDD Index. Conhecer a evolução da vantagem posicional quando um jogador faz uma *variação paralela* ou uma *abertura de ângulo*, pode fazer toda a diferença na compreensão no comportamento dos jogadores e na interpretação do seu resultado.

De um modo muito idêntico ao GDD Index, o conhecimento da evolução da vantagem posicional ao longo das jogadas e dos valores de magnitude e variação associados às situações de rutura, podem fornecer informação de grande utilidade para o treino e para análise do desempenho dos jogadores. Através da comparação com valores de referência, poderá, por exemplo, fornecer informação sobre o efeito da fadiga, da idade ou da perícia na habilidade dos jogadores se deslocarem, permitir caracterizar o modo de jogar dos jogadores ou ajudar os treinadores a desenhar exercícios de treino mais apropriados (ver exemplos no estudo 4). Um outro aspeto que também consideramos inovador e com bastante interesse para a compreensão do jogo, e que decorre da interpretação deste modelo (PA Index), é o espaço de jogo funcional ser analisado com um formato elíptico.

6.5. Futuras perspetivas de investigação

Nesta secção iremos apresentar algumas perspetivas futuras de investigação que pretendemos desenvolver nesta área e que decorrem da elaboração desta tese.

O modelo apresentado no capítulo 4 (PA Index) permite quantificar a vantagem posicional dos jogadores com base no seu posicionamento relativo. Apesar da vantagem posicional ser uma informação relevante para a compreensão do comportamento dos jogadores, em algumas situações de jogo não expressa bem qual é o jogador que se encontra em melhores condições para criar uma situação de rutura. Por exemplo, se um dos jogadores for deslocado sobre a sua esquerda, mas a trajetória da bola for tal (por exemplo muito alta) que permita ao jogador se desviar do batimento de esquerda (*backhand*) para realizar um ataque com a direita (*forehand*), embora esteja em desvantagem posicional (muito deslocado lateralmente) pode estar em condições de criar dificuldade ao adversário. Neste sentido, o modelo poderá ser aperfeiçoado através da incorporação de informação sobre a trajetória da bola e qual o jogador que vai efetuar o batimento. Deste modo, o modelo passaria a quantificar a

vantagem dos jogadores no jogo e não apenas a sua vantagem posicional. Poderão também, por exemplo, ser incluídos parâmetros que possibilitem quantificar o dispêndio energético dos jogadores durante as jogadas.

Por outro lado, para que as conclusões apresentadas nestes estudos possam ser generalizadas será também necessário aplicar os referidos modelos a um maior número de jogadas e a diferentes situações de jogo (e.g., dinâmica da situação serviço/resposta). Seria inclusivamente interessante utilizá-los para caraterizar o “perfil de jogo” de diferentes jogadores, diferenciar as situações de sucesso das de insucesso, o jogo masculino do feminino ou níveis de perícia.

Uma outra linha de investigação que deriva desta tese passa pela procura da verificação experimental do efeito da manipulação de diferentes constrangimentos na forma como os jogadores adaptam as suas ações em situação de jogo (e.g., altura de rede, configuração do *court*, tipo de bola, instrução do treinador). O efeito destes constrangimentos pode ser medido com precisão e comparado através dos modelos propostos.

O desenvolvimento de um sistema que integre as variáveis aqui apresentadas e permita a produção rápida e automática de dados sobre a dinâmica do jogo é algo que merecerá a nossa atenção no futuro. Este sistema de análise para além de facilitar a realização dos estudos acima referidos, aumentaria a utilização prática dos resultados apresentados nesta tese.

6.6. Referências

- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653-676.
- Cordovil, R., & Barreiros, J. (2010). Adults' perception of children's height and reaching capability. *Acta Psychologica*, 135(1), 24-29.
- Correia, V., Araújo, D., Craig, C., & Passos, P. (2011). Prospective Information for Pass Decisional Behaviour in Rugby Union. *Human Movement Science*, 30, 984-997.
- Correia, V., Araújo, D., Duarte, R., Travassos, B., Passos, P., & Davids, K. (2012). Changes in practice task constraints shape decision-making behaviours of team games players. *Journal of Science and Medicine in Sport* 15, 244-249.

- Davids, K., Button, C., Araújo, D., Renshaw, I., & Hristovski, R. (2006). Movement Models from Sport Provide Representative Task Constraints for Studying Adaptive Behavior in Human Movement Systems. *Adaptive Behavior* 14(1), 73-95.
- Fajen, B. R., Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2009). Information, affordances, and the control of action in sport. *International Journal of Sport Psychology*, 40(1), 79-107.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*: Houghton Mifflin Boston.
- Lames, M. (2006). Modelling the interaction in game sports—relative phase and moving correlations. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 556-560.
- Marsh, K. L., Richardson, M. J., Baron, R. M., & Schmidt, R. C. (2006). Contrasting approaches to perceiving and acting with others. *Ecological Psychology*, 18(1), 1-38.
- Palut, Y., & Zanone, P. (2005). A dynamical analysis of tennis: Concepts and data. *Journal of Sports Sciences*, 23(10), 1021-1032.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Milho, J., & Serpa, S. (2008). Information-governing dynamics of attacker-defender interactions in youth rugby union. *Journal of Sports Sciences*, 26(13), 1421-1429.
- Travassos, B., Araújo, D., Davids, K., Vilar, L., Esteves, P., & Correia, V. (2012). Informational constraints shape emergent functional behaviors during performance of interceptive actions in team sports. *Psychology of Sport & Exercise* 13(2), 216-223.
- Travassos, B., Araújo, D., Duarte, R., & McGarry, T. (in press). Spatiotemporal coordination patterns in futsal (indoor football) are guided by informational game constraints. *Human Movement Science*.
- Vilar, L., Araújo, D., Davids, K., & Button, C. (2012). The role of ecological dynamics in analysing performance in team sports. *Sports Medicine*, 42(1), 1-10.
- Vilar, L., Araújo, D., Davids, K., & Travassos, B. (2012). Constraints on competitive performance of attacker-defender dyads in team sports. *Journal of Sports Sciences*, 30(5), 459-469.